Tema 6: Campo Eléctrico

6.1.- Introducción

En el capítulo anterior vimos que cuando introducimos una partícula en el espacio vacío, ésta lo modifica, haciendo cambiar su geometría, de modo que otra partícula que se sitúa en él, estará sometida a una acción debida a la deformación producida por la primera, es decir; las partículas interaccionan por medio de los campos que ellas crean.

Dijimos también que llamamos ***campo*** a toda región del espacio tal que en cada uno de sus puntos se ponen de manifiesto valores iguales o distintos de una magnitud física.

Campo Eléctrico es un campo vectorial de fuerzas cuya magnitud activa es la carga.

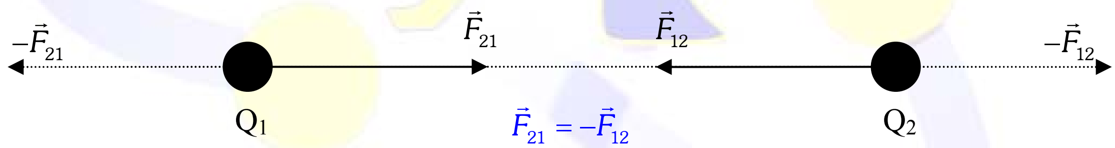
6.2.- Carga Eléctrica

Es una magnitud escalar. En los problemas de interacción electrostática suponemos que la carga de un cuerpo está concentrada en el centro de éste, por lo que hablaremos de cargas puntuales. La unidad de carga es el Culombio [C] y como es una unidad muy grande se suelen utilizar submúltiplos. Existe otra unidad de carga que es el Franklin. (1 C=$3\cdot10^9$ uee)

6.3.- Ley de Coulomb

La ley de Coulomb, nos indica que la fuerza de atracción o repulsión entre dos cargas puntuales Q_1 y Q_2 separadas una distancia ***r***, es directamente proporcional al producto de sus cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.

Esta fuerza es un vector que tiene como dirección la recta que une el centro de cada una de las cargas y se calcula mediante la expresión:



$$\boxed{\vec{F} = K\cdot\frac{Q_1\cdot Q_2}{r^2}\cdot\hat{r}}$$

Donde el vector $\hat{r}$ es un vector unitario en la dirección de la recta que une las dos cargas, y K es una constante que depende del medio eléctrico interpuesto entre las cargas, soliendo expresarse de la siguiente forma:

$$K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_r\cdot\varepsilon_o}$$

Con lo que la Ley de Coulomb queda:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_r\cdot\varepsilon_o}\cdot\frac{Q_1\cdot Q_2}{r^2}\cdot\hat{r}$$

ε_r es una constante denominada permitividad relativa, o constante dieléctrica relativa del medio.

ε_o es otra constante que recibe el nombre de constante dieléctrica del vacío o permitividad del vacío.

El producto de ambas: $\varepsilon = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_o$ se llama constante dieléctrica absoluta del medio interpuesto entre cargas. En el S.I. el valor de ε_o es:

$$\varepsilon_o = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} = 8{,}8 \cdot 10^{-12} C^2 \cdot N^{-1} \cdot m^{-2}$$

Sustituyendo este valor en la expresión general de Coulomb, tendremos:

$$F = K \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o \cdot \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9}} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{Q_1 \cdot Q_2}{\varepsilon_r \cdot r^2}$$

Que es la expresión más usual de la ley de Coulomb.

En la siguiente tabla aparecen reseñados los valores de las constantes dieléctricas relativas y absolutas de algunos dieléctricos:

Sustancia	ε_r	$\varepsilon = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_o$
Vacío	1	$8{,}85 \cdot 10^{-12}\ C^2 \cdot N^{-1} \cdot m^{-2}$
Aire	1,0006	$8{,}85 \cdot 10^{-12}\ C^2 \cdot N^{-1} \cdot m^{-2}$
Agua	81	$717 \cdot 10^{-12}\ C^2 \cdot N^{-1} \cdot m^{-2}$

Cuando trabajemos en el vacío, que eso será lo más habitual, la ley de Coulomb será:

$$\vec{F} = K \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \cdot \hat{r}$$

Donde $K = 9 \cdot 10^9\ N \cdot m^2 \cdot C^{-2}$

El signo de la fuerza, depende del signo de las cargas eléctricas. Si las cargas son del mismo signo la fuerza es positiva (repulsiva) y si tienen signos opuestos es negativa (atractiva).

Ejemplo 1: ***Calcular con qué fuerza se repelen dos cargas puntuales positivas de 5 y 2 micro culombios, situadas en el vacío a una distancia de 3 mm.***

$$F = 9 \cdot 10^9 N \cdot m^2 \cdot C^{-2} \cdot \frac{5 \cdot 10^{-6} C \cdot 2 \cdot 10^{-6} C}{1 \cdot \left(3 \cdot 10^{-3} m\right)^2} = 10^4 N$$

Ejemplo 2: ***Dos cargas eléctricas iguales, a 20 cm de distancia entre sí, en el vacío, se repelen con 1N de fuerza. ¿cuánto valen las cargas eléctricas?.***

Como ambas cargas son iguales, la ley de Coulomb es de la forma: $F = K \frac{Q \cdot Q}{r^2} = K \frac{Q^2}{r^2}$

por tanto, si despejamos Q, tenemos: $Q = \pm r \sqrt{\frac{F}{K}} = 2 \cdot 10^{-2} m \cdot \sqrt{\frac{1N}{9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}}} = \pm\ 2{,}1\ C$

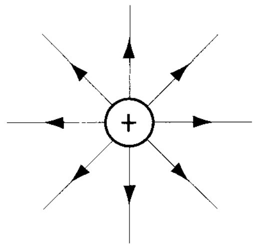
6.4.- Campo Eléctrico

Una carga eléctrica en el espacio crea un campo eléctrico, que es directamente proporcional a la carga eléctrica e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa el centro de la carga del punto donde se calcula el campo eléctrico. Es una magnitud vectorial que se mide en [N/C] y se calcula mediante la expresión:

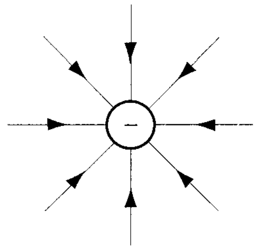
$$\boxed{\vec{E} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_o} \cdot \frac{Q}{r^2} \cdot \hat{r}}$$

El campo eléctrico es un vector que tiene como dirección la recta que une el centro de la carga con el punto donde se calcula y el sentido depende del signo de la carga que crea el campo, si ésta es positiva el sentido del campo se aleja de la carga y si ésta es negativa va dirigida hacia la carga.

El sentido de las líneas de campo depende del signo de las cargas eléctricas, si es negativa van dirigidas hacia las cargas (igual que en una masa las líneas de campo gravitatorio) y si es positiva se dirigen hacia fuera de la carga eléctrica.



Líneas de campo eléctrico $Q+$



Líneas de campo eléctrico $Q-$

La densidad de las líneas de campo está relacionada con la intensidad del campo. El vector campo es tangente a las líneas de campo en cada punto

6.5.- Potencial Eléctrico

El potencial eléctrico de una carga Q en un punto se define como el trabajo (cambiado de signo) necesario para desplazar una carga de 1 C desde el infinito hasta ese punto. Es una magnitud escalar que se mide en voltios [V] y se calcula:

$$\boxed{V = \frac{1}{4\cdot\pi\cdot\varepsilon_o}\cdot\frac{Q}{r}}$$

Donde r es la distancia desde el centro de la carga al punto donde se calcula el potencial.

6.5.1.- Diferencia de Potencial

La diferencia de potencial entre dos puntos de un campo, es la diferencia entre los potenciales de dichos puntos.
Imaginemos dos puntos 1 y 2 de un campo eléctrico, de potenciales V_1 y V_2 respectivamente.

- Si una carga positiva Q' se desplaza espontáneamente desde el punto 1 al 2, el trabajo realizado por las fuerzas del campo será positivo. $W_{1\to 2} = Q'(V_1 - V_2) > 0$, por lo tanto $V_1 > V_2$

- Si por el contrario es necesario realizar un trabajo contra las fuerzas del campo será negativo, $W_{1\to 2} < 0$, y por lo tanto $V_1 < V_2$

- Si la carga es negativa sucederá lo contrario.

En resumen, una carga positiva se desplazará espontáneamente en el sentido de los potenciales decrecientes y una negativa en el de los crecientes.

La forma de calcular la diferencia de potencial entre dos puntos es: $\Delta V = V_1 - V_2 = \int_1^2 E\cdot dr$

Si el campo eléctrico ***es homogéneo***, podemos sacar E de la integral y quedará:

$$\Delta V = V_1 - V_2 = \int_1^2 E\cdot dr = E\cdot\int_1^2 dr = E\cdot(r_2 - r_1)$$

Por tanto:

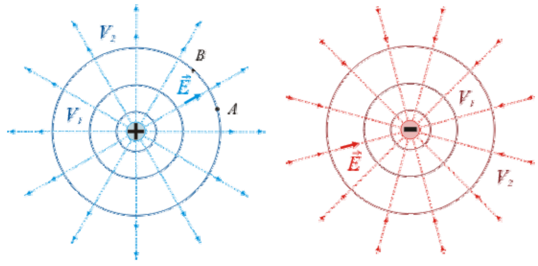
$$\Delta V = V_1 - V_2 = E\cdot(r_2 - r_1)$$

6.6.- Superficies Equipotenciales

Se denomina superficie equipotencial al lugar geométrico de los puntos del campo en los que el potencial toma un mismo valor. Las ecuaciones de esas superficies se obtienen haciendo V(x,y,z)=cte.

Se caracterizan por:

- El trabajo realizado al trasladar una carga desde un punto a otro de una misma superficie equipotencial es nulo.
- Las superficies equipotenciales cortan perpendicularmente a las líneas de fuerza.



(a) (b)

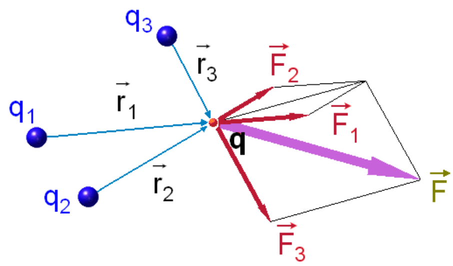
6.7.- Principio de Superposición

El campo y el potencial eléctricos creado en un punto del espacio por un sistema de cargas puntuales respectivamente es la suma (vectorial en el caso del campo, escalar en el caso del potencial) de los campos o de los potenciales creados en aquel punto por cada una de las masas por separado.

$$\vec{E}_A = \sum_i \vec{E}_i = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + ... + \vec{E}_n$$

$$V_A = \sum_i V_i = V_1 + V_2 + V_3 + ... + V_n$$

$$\vec{F}_A = \sum_i \vec{F}_i = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + ... + \vec{F}_n$$



6.8.- Energía Potencial Electrostática

Es la energía que tiene un sistema formado por dos cargas Q_1 y Q_2 separadas una distancia r. Es una magnitud escalar que se mide en Julios [J] y se calcula mediante la expresión:

$$\boxed{E_p = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_o} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r}}$$

La relación entre energía potencial el potencial y el trabajo que realiza el sistema para mover Q desde A hasta B es la siguiente:

$$\boxed{W = Q(V_A - V_B) = \Delta E_p}$$

6.9.- Flujo del Campo Eléctrico. Teorema de Gauss

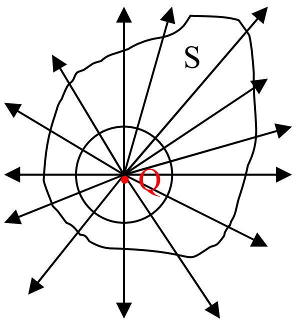
El flujo a través de una superficie imaginaria situada en el interior de un campo eléctrico viene dado por la expresión:

$$\Phi = \int \vec{E} \cdot d\vec{S} \qquad \text{o lo que es lo mismo:} \qquad d\Phi = \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

Siendo $\vec{E}$ el valor del campo existente en el elemento de superficie $d\vec{S}$.

En el caso de que la superficie sea cerrada, la expresión se convierte en: $\Phi = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S}$.

La unidad de flujo eléctrico es el voltio por metro. (V·m)

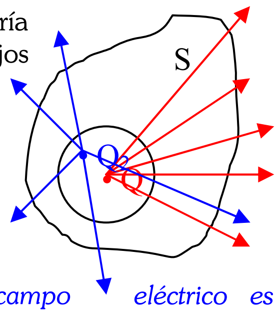


Imaginemos una carga positiva puntual Q, situada dentro de una superficie cerrada como la de la figura. Tomando como centro la carga, podemos trazar una superficie esférica cualquiera, de radio r. Las líneas de fuerza que atraviesan esta superficie esférica son las mismas que atraviesan la superficie original.

Ahora bien, estas líneas son perpendiculares a la superficie esférica (por lo que E y dS tienen el mismo sentido) y, a la vez, la intensidad del campo eléctrico es la misma en todos los puntos de dicha superficie, por lo que el flujo valdrá:

$$\Phi = \oint \vec{E}\cdot d\vec{S} = \oint E\cdot dS = E\cdot\oint dS = E\cdot S = E\cdot 4\cdot\pi\cdot r^2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o\varepsilon_r}\cdot\frac{Q}{r^2}\cdot 4\cdot\pi\cdot r^2 = \frac{Q}{\varepsilon_o\cdot\varepsilon_r} = \frac{Q}{\varepsilon}$$

Donde hemos utilizado que la superficie de una esfera se calcula como $4\pi r^2$.



Si dentro de esta superficie existieran varias cargas, entonces cada una de ellas tendría su propio flujo, por lo que el flujo total sería la suma de cada uno de los flujos producidos por cada carga.

$$\Phi = \frac{\sum Q}{\varepsilon}$$

Que es la expresión matemática del teorema de Gauss.

*"El flujo neto que atraviesa una superficie cerrada **(superficie gaussiana)** en un campo eléctrico es igual a la suma algebraica de las cargas eléctricas encerradas en su interior dividida entre la constante dieléctrica del medio en que se encuentran las cargas".*

Si este medio se tratara del vacío, la expresión del teorema de Gauss quedaría de la forma: $\Phi = \frac{\sum_i Q_i}{\varepsilon_o}$

Ejemplo 3: ***Una carga eléctrica puntual de +2μC se encuentra situada en el centro geométrico de un cubo de 2m de arista. El medio es el vacío. Calcular:***

- ***a)*** ***La intensidad del campo en el centro de una de las caras.***
- ***b)*** ***El flujo a través del cubo.***
- ***c)*** ***El flujo a través de una cara.***

El campo eléctrico vendría dado por: $E = K\frac{Q}{r^2} = K\frac{2\cdot 10^{-6}C}{1m^2} = 1{,}8\cdot 10^4 N/C$

El flujo a través de cubo, como este es una superficie cerrada, estaríamos en paraje de utilizar el teorema de Gauss, por tanto:

$$\Phi = \frac{Q}{\varepsilon_o} = \frac{2\cdot 10^{-6}C}{8{,}85\cdot 10^{-12}C^2N^{-1}m^{-2}} = 2{,}26\cdot 10^5 V\cdot m$$

Para el tercer apartado, y por simetría, el flujo a través de una cara, será la sexta parte del flujo total:

$$\Phi = \frac{\Phi}{6} = 3{,}77\cdot 10^4 V\cdot m$$

6.10.- Aplicaciones del Teorema de Gauss

El teorema de Gauss permite calcular la expresión del campo electrostático creado por algunas distribuciones de carga. Deben ser cuerpos que posean cierta simetría (esférica, cilíndrica, plana), en los que podamos tener una idea de la dirección que llevarán las líneas de campo en cada punto.

El objetivo que se persigue al aplicar este teorema es el de poder despejar E de la fórmula $\oint_S \vec{E}\cdot d\vec{S} = \frac{Q}{\varepsilon}$

Para lo que es preciso que E tenga un valor constante en toda la superficie y que además sea perpendicular a ésta. Así:

$$\oint_S \vec{E}\cdot d\vec{S} = \oint_S E\cdot dS\cdot \cos\alpha = \pm E\oint_S dS = \pm E\cdot S = \frac{Q}{\varepsilon}\,,\quad \text{donde } \alpha \text{ solo puede tomar los valores } \begin{cases}\alpha = 0\\ \alpha = \pi\end{cases}$$

Si despejamos E, nos quedará: $E = \left|\dfrac{Q}{S\cdot\varepsilon}\right|$

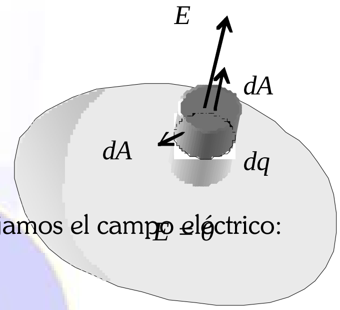
Y en la que S es el valor de la superficie gaussiana utilizada, y Q es la carga total que queda encerrada dentro de ella.

6.10.1.- Campo eléctrico en un punto próximo a la superficie de un conductor cargado en Equilibrio

Supongamos un conductor cuya densidad superficial de carga sea: $\sigma = \dfrac{dQ}{dS}$. Ya que el conductor está en equilibrio, el campo eléctrico será perpendicular a la superficie.

Si trazamos una pequeña superficie gaussiana en forma de cilindro, una de cuyas bases, de área dS, está dentro del conductor y otra fuera. El flujo solo atravesará la base exterior del cilindro puesto que dentro el campo es nulo, por encontrarse su carga en la superficie.

Aquí tenemos que el flujo es: $\Phi = \dfrac{Q}{\varepsilon}$



Pero como además sabemos que: $d\Phi = \vec{E}\cdot d\vec{S} = E\cdot dS$

Entonces: $\dfrac{dQ}{\varepsilon} = E\cdot dS$

Si despejamos el campo eléctrico:

$$E = \frac{dQ/dS}{\varepsilon} = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

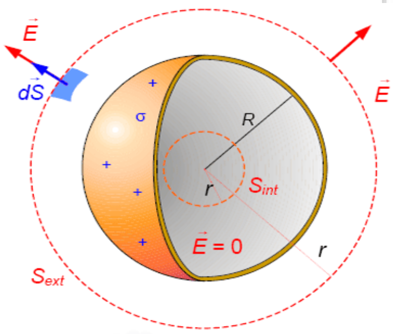
En un punto muy próximo a la superficie de un conductor en equilibrio electrostático el campo es igual a la densidad de carga dividida entre la constante dieléctrica del medio.

6.10.2.- Campo eléctrico creado por una corteza esférica conductora de radio R

El cuerpo que va a crear el campo tiene simetría esférica. Sabemos que las líneas de campo irán en dirección radial y que el valor del campo dependerá exclusivamente de la distancia al centro de la esfera. La superficie gaussiana que andamos buscando debe ser perpendicular a las líneas de campo y mantener constante el valor de E en todos sus puntos: es claramente una esfera de radio r cualquiera (siempre mayor que el radio R de la esfera).

En el interior: Ya que las cargas se sitúan siempre sobre la superficie externa del conductor, el campo en el interior es nulo ya que no encontraremos ninguna superficie cerrada que contenga cargas en su interior.

$\boxed{\text{Si } r<R,\ E = 0}$



Corteza esférica cargada

En el exterior de la corteza: Si construimos una superficie de Gauss de radio r>R, concéntrica con la corteza, y aplicamos el teorema de Gauss:

$$\Phi = \oint \vec{E}\cdot d\vec{S} = \oint E\cdot dS = E\cdot\oint dS = E\cdot S = E\cdot 4\cdot\pi\cdot r^2 = \frac{Q}{\varepsilon}$$

Así que despejando E tenemos: $\boxed{E = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon}\dfrac{Q}{r^2}}$

Que es la expresión por todos conocida.

El campo eléctrico en el exterior de una corteza esférica cargada es el mismo que resulta al suponer toda la carga situada en el centro de dicha corteza esférica.

En la misma corteza: Cogiendo de nuevo una superficie gaussiana con r>R, obtenemos el mismo resultado que el caso anterior.

$$\boxed{\text{Si } r \geq R,\ E = \frac{1}{4\pi\varepsilon}\frac{Q}{r^2}}$$

Teniendo en cuenta que $\sigma = \dfrac{Q}{4\pi R^2}$, la expresión anterior queda: $E = \dfrac{\sigma}{\varepsilon}$

6.10.3.- Campo eléctrico creado por una esfera maciza de radio R uniformemente cargada en su interior.

En el exterior: Si trazamos una superficie gaussiana de radio r>R, que englobe a la esfera y concéntrica con ella, aplicando luego el teorema de Gauss, tendremos:

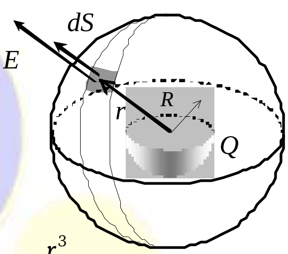
$$\Phi = \oint \vec{E}\cdot d\vec{S} = \oint E\cdot dS = E\cdot\oint dS = E\cdot S = E\cdot 4\cdot\pi\cdot r^2 = \frac{Q}{\varepsilon}$$

Así que despejando E tenemos:

$$\boxed{\text{Si } r>R,\ E = \frac{1}{4\pi\varepsilon}\frac{Q}{r^2}}$$

En el interior: Consideremos ahora una superficie gaussiana de radio r<R, concéntrica con la esfera. Sea Q' la carga encerrada en su interior. La densidad volúmica de carga vendrá dada por:

$$\rho = \frac{Q}{\frac{4}{3}\pi R^3}$$



Tendremos que: $Q' = \rho\cdot\frac{4}{3}\pi r^3 = \dfrac{Q}{\frac{4}{3}\pi R^3}\cdot\frac{4}{3}\pi r^3 = Q\dfrac{r^3}{R^3}$

Si aplicamos Gauss a dicha superficie gaussiana, resulta:

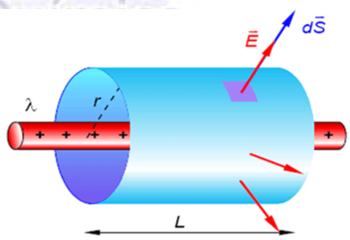
$$\Phi = \oint \vec{E}\cdot d\vec{S} = \oint E\cdot dS = E\cdot\oint dS = E\cdot S = E\cdot 4\cdot\pi\cdot r^2 = \frac{Q'}{\varepsilon} = \frac{Q\frac{r^3}{R^3}}{\varepsilon}$$

Y por consiguiente;

$$\boxed{\text{Si } r<R,\ E = \frac{1}{4\pi\varepsilon}\cdot Q\cdot\frac{r}{R^3} = \frac{\rho}{3\varepsilon}\cdot r}$$

6.10.4.- Campo eléctrico creado por un hilo conductor cargado de longitud infinita

Sea un hilo conductor infinitamente largo, cuya densidad lineal de carga designaremos por λ. Para calcular el campo creado por este conductor a una distancia r de él construimos una superficie gaussiana cilíndrica, concéntrica con el hilo, de radio r y de altura l. La carga contenida dentro de esta superficie es λ, y, como el campo es perpendicular al hilo, el flujo atraviesa la superficie lateral y las bases del cilindro. Aplicando el teorema de Gauss, como en las bases el vector E y dS son perpendiculares, en ellas el flujo será nulo y tendremos que:



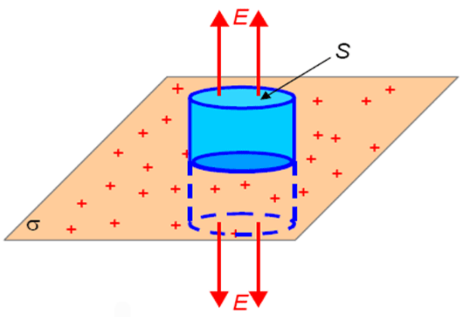
Superficie cilíndrica gaussiana de radio *r* coaxial con una distribución lineal de carga

$$\Phi = \oint \vec{E}\cdot d\vec{S} = \oint E\cdot dS = E\cdot\oint dS = E\cdot S = E\cdot 2\cdot\pi\cdot r\cdot l = \frac{Q}{\varepsilon} = \frac{\lambda\cdot l}{\varepsilon}$$

De donde:

$$\boxed{E = \frac{1}{2\pi\varepsilon}\cdot\frac{\lambda}{r}}$$

6.10.5.- Campo eléctrico creado por un plano infinito cargado uniforme



Plano infinito cargado

Construimos una superficie gaussiana consistente en un cilindro de bases S y cuyas paredes sean perpendiculares al plano. El flujo solo atravesará las dos bases del cilindro, pues su superficie lateral es un tubo de fuerza. De acuerdo con el teorema de Gauss, tenemos:

$$\Phi = \oint \vec{E}\cdot d\vec{S} = \oint E\cdot dS = E\cdot\oint dS = E\cdot 2S = \frac{Q}{\varepsilon}$$

De aquí se deduce que:

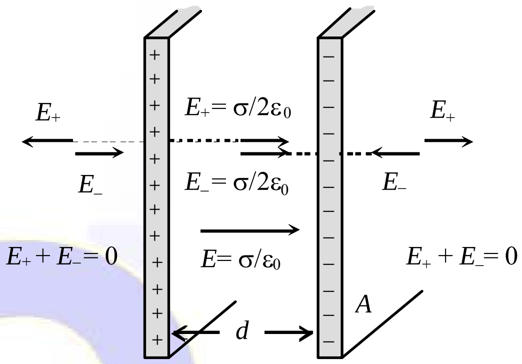
$$\boxed{E = \frac{Q}{2\varepsilon\cdot S} = \frac{\sigma}{2\varepsilon}}$$

Observamos que el campo obtenido no depende de la distancia al plano. Se trata, por tanto, de un campo uniforme y perpendicular al plano, representable mediante líneas de fuerza rectas, paralelas y uniformemente espaciadas.

Cuando colocamos dos láminas planas cargadas, con cargas iguales pero de signo contrario, tenemos un aparato eléctrico denominado ***condensador***. En esta situación, el campo entre las placas será la suma de los campos (principio de superposición), con lo que:

$$E = E_1 + E_2 = 2\cdot\frac{\sigma}{2\varepsilon} = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Con la característica de que en el exterior del condensador, $\vec{E}$ se anula.



Ejemplo 4: ***Una superficie esférica de radio R_1=1m, rodea a una carga de $-5\cdot10^{-8}$C situada al lado de otra carga de $3\cdot10^{-8}$C. a) ¿Cuál será el flujo neto a través de dicha superficie? B) Si aumentamos el radio de la esfera a R_2=4m, ¿Cuál será entonces el flujo neto?***

a) El flujo a través de una superficie cerrada que encierra una carga total es $\Phi = \frac{Q}{\varepsilon} = E\cdot S = \frac{K\cdot Q}{r^2}\cdot 4\pi r^2 = 4\pi KQ$, por tanto:

$$\Phi = 4\pi KQ = 4\cdot\pi\cdot 9\cdot10^9\, N\cdot m^2\cdot C^{-2}\cdot(-5+3)\cdot10^{-8}\, C = -2261{,}9 N\cdot C^{-1}\cdot m^2$$

b) El flujo será el mismo porque las líneas de campo que atraviesan una superficie, también atraviesan a la otra. Además, por sabemos por el teorema de Gauss, que el flujo solo depende de la carga encerrada y no del tamaño de la superficie. El signo negativo del flujo indica que el campo apunta hacia el interior de la superficie.

Ejemplo 5: ***Calcular el campo eléctrico debido a una distribución lineal de carga de longitud infinita y densidad lineal de carga $\lambda = 10^{-9} C/m$ a una distancia r=1m, usando el teorema de Gauss.***

Para calcular el campo creado por este conductor a una distancia r de él construimos una superficie gaussiana cilíndrica, concéntrica con el hilo, de radio r y de altura l. La carga contenida dentro de esta superficie es λ , y, como el campo es perpendicular al hilo, el flujo atraviesa la superficie lateral y las bases del cilindro. Aplicando el teorema de Gauss, como en las bases el vector E y dS son perpendiculares, en ellas el flujo será nulo y tendremos que:

$$\Phi = \oint \vec{E}\cdot d\vec{S} = \oint E\cdot dS = E\cdot\oint dS = E\cdot S = E\cdot 2\cdot\pi\cdot r\cdot l = \frac{Q}{\varepsilon} = \frac{\lambda\cdot l}{\varepsilon}$$

De donde despejando E, nos da:

$$E = \frac{1}{2\pi\varepsilon}\cdot\frac{\lambda}{r} = \frac{2}{4\pi\varepsilon}\cdot\frac{\lambda}{r} = 2K\frac{\lambda}{r} = 18\, N/C$$

6.11.- Acción de un campo eléctrico sobre partículas cargadas en movimiento

Una partícula de masa m, cargada con una carga q, que está en una región donde hay un campo eléctrico, experimenta una fuerza igual al producto de su carga por la intensidad del campo eléctrico $F_e = q \cdot E$

- Si la carga es positiva, experimenta una fuerza en el sentido del campo.
- Si la carga es negativa, experimenta una fuerza en sentido contrario al campo.

Si el campo es uniforme, la fuerza es constante y también lo es, la aceleración. Aplicando la segunda ley de Newton y las ecuaciones del *movimiento rectilíneo uniformemente acelerado*, obtenemos la velocidad de la partícula en cualquier instante o después de haberse desplazado una determinada distancia.

$$F_e = q \cdot E = m \cdot a \qquad \Rightarrow \qquad a = \frac{q \cdot E}{m}$$

$$v = v_o + a \cdot t \qquad\qquad x = x_o + v_o \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

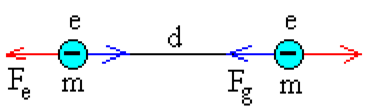
De forma alternativa, podemos aplicar el principio de conservación de la energía, ya que el campo eléctrico es conservativo.

La energía potencial electrostática, $E_p = K \frac{Q \cdot q}{r} = q \cdot \Delta V$ se transforma en energía cinética $E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$.

Siendo ΔV la diferencia de potencial existente entre dos puntos distantes *x*, sabemos que en un campo eléctrico uniforme $\Delta V = E \cdot x$, y de aquí:

$$q \cdot \Delta V = \frac{1}{2} m \cdot v^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_o^2$$

Además de esto, podría darse el caso en el que nos encontráramos situaciones en las que se mezclaran campo eléctrico y campo gravitatorio, para las cuales aplicaríamos el principio de conservación de energía, o para las cuales haríamos un planteamiento dinámico del problema.



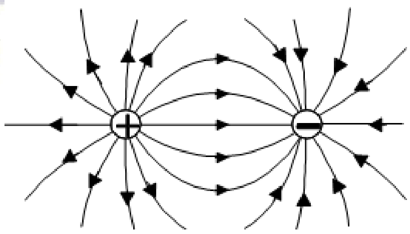
6.12.- Nociones sobre campo Electrostático en la materia

6.12.1.- Campo electrostático producido por un dipolo

Se entiende por dipolo un cuerpo neutro (normalmente una molécula) en el que las cargas positiva y negativa están separadas. Existirá entonces un campo eléctrico entre ambas cargas, cuyo sentido va desde la positiva a la negativa.

Una sustancia cuyas moléculas son dipolos se dice que es polar. Por ejemplo: agua, HCl, NH_3,

En caso contrario será apolar. Ejemplos: metano (CH_4), benceno(C_6H_6), oxígeno(O_2)



6.12.2.- Conductores y aislantes

Podemos hacer una clasificación de las sustancias según su comportamiento frente a un campo eléctrico. Así, distinguimos entre Conductores y Dieléctricos o aislantes.

6.12.2.1.- Conductores

Son cuerpos que pueden conducir la corriente eléctrica a su través (por ejemplo los metales).Poseen cargas libres (electrones móviles). Fundamentalmente son metales de transición, con estructura de enlace metálico (los electrones de la subcapa d de los átomos forman una "nube electrónica"). Los mejores conductores: Ag, Au, Cu.

Decimos que un conductor está en equilibrio electrostático cuando no hay movimiento de cargas en su interior, es decir, $\sum \vec{F}_e = 0$. Por tanto, si no tenemos fuerza eléctrica neta en el conductor, el campo eléctrico E en el interior del conductor es nulo.

Definimos la Capacidad de un conductor (C) como la relación entre carga acumulada y potencial almacenado por el conductor. Es decir, la capacidad nos indica cuánta carga almacena el conductor por cada voltio de potencial al que se le somete.

$$C = \frac{Q}{V}$$

Sus unidades son el Voltio/Coulombio = Faradio.

6.12.2.2.- Dieléctricos

Son cuerpos que no dejan pasar la electricidad a su través. No poseen electrones móviles y normalmente son compuestos covalentes, de forma que los electrones están restringidos a un átomo o molécula, siendo muy difícil que puedan circular por el material. Por tanto, no pueden conducir la corriente eléctrica.

Según el tipo de molécula distinguimos dos tipos:

- Dieléctricos polares: Sus moléculas son dipolos, tienen cargas separadas y campo eléctrico interno.
- Dieléctricos apolares: En sus moléculas no existe separación de cargas, no son dipolos.

6.13.- Analogías entre campo eléctrico y campo gravitatorio

Magnitud	Interacción gravitatoria	Interacción eléctrica
Fuerza	$\vec{F} = \frac{-G M_1 M_2}{r^2} \vec{u}$	$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \vec{u}$
Campo	$\vec{g} = -\frac{G M}{r^2} \vec{u}$	$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \frac{Q}{r^2} \vec{u}$
Fuerza-Campo	$\vec{F}_{peso} = m \vec{g}$	$\vec{F}_{electrica} = Q \cdot \vec{E}$
Energía Potencial	$E_p = -\frac{G M_1 M_2}{r}$	$E_p = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \frac{Q_1 Q_2}{r}$
Potencial	$V = -\frac{G M}{r}$	$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \frac{Q}{r}$
Potencial-Energía Potencial	$E_p = m V$	$E_p = Q V$
Trabajo	$W = -M_2 (V_B - V_A) = -\Delta E_p$	$W = Q_2 (V_A - V_B) = -\Delta E_p$

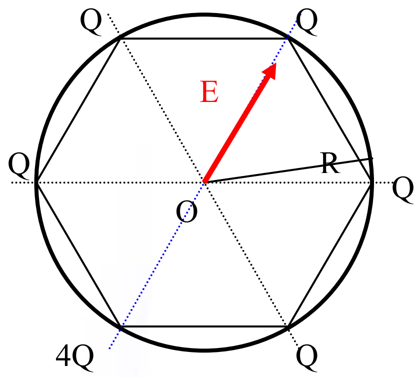
6.14.- Resolución de Problemas y ejercicios

1.- Sobre una circunferencia de radio R se encuentran seis cargas eléctricas positivas igualmente espaciadas: cinco, de valor q, y la sexta de valor 4q. Halla:

a) La intensidad del campo eléctrico en el centro de la circunferencia.
b) El potencial electrostático en ese punto.
c) El trabajo necesario para situar una carga de 2q en el centro de la circunferencia.
d) La disposición que deberían tener las cargas para que el campo eléctrico resultante en el centro de la circunferencia sea nulo.

a) Para calcular la intensidad del campo eléctrico en el centro, como todas las cargas son iguales y las distancias de todas ellas al centro también, todas se anulan excepto en la dirección que une las cargas 4Q y Q:

$$E = E_{4Q} - E_{Q} = K\frac{4Q}{R^2} - K\frac{Q}{R^2} = \frac{3K\cdot Q}{R^2}$$



La resultante, tendrá la dirección de la carga Q sobre esa misma línea

Vectorialmente, como el ángulo que forma E con la horizontal es de 60°, entonces:

$$\vec{E} = \frac{3K\cdot Q}{R^2}\left(\cos\frac{\pi}{3}\hat{i} + sen\frac{\pi}{3}\hat{j}\right) = \frac{3K\cdot Q}{2R^2}\left(\hat{i} + \sqrt{3}\hat{j}\right) = 1{,}35\cdot 10^{10}\,\frac{Q}{R^2}\left(\hat{i} + \sqrt{3}\hat{j}\right)\ N\cdot C^{-1}$$

b) Para calcular el potencial en el centro, no tenemos más que sumar los potenciales de cada una de las cargas:

$$V = \sum V_i = K\frac{9Q}{R} = 8{,}1\cdot 10^{10}\,\frac{Q}{R}\ V$$

c) Para calcular el trabajo necesario para trasladar una carga 2q, por supuesto positiva, al centro de la circunferencia desde el infinito donde V=0:

$$W_{\infty\to O} = q\left(V_o - V_\infty\right) = 2Q\cdot V_o = 2Q\cdot K\frac{9Q}{R} = \frac{18\cdot K\cdot Q^2}{R} = 1{,}62\cdot 10^{11}\,\frac{Q^2}{R}\ J$$

Claramente este trabajo será positivo.

d) Para que el campo eléctrico en O resultante fuera nulo, simplemente habría que reajustar la posición de la carga 4Q, puesto que las otras se compensan.
Llamando R' a la nueva distancia al centro, sobre la misma recta, de la carga 4Q, e igualando ambos campos eléctricos, tenemos:

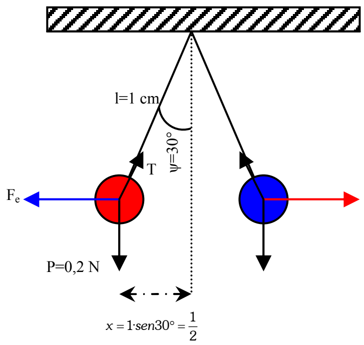
$$\left.\begin{aligned} E_{4Q} &= K\frac{4Q}{R_1^2} \\ E_Q &= K\frac{Q}{R^2} \end{aligned}\right\} E_{4Q} = E_Q \quad \Rightarrow \quad K\frac{4Q}{R_1^2} = K\frac{Q}{R^2} \quad \Rightarrow \quad \frac{4}{R_1^2} = \frac{1}{R^2}$$

Operando un poquito llegamos a:

$$\frac{R^2}{R_1^2} = \frac{1}{4} \quad \Rightarrow \quad \frac{R}{R_1} = \frac{1}{2} \quad \Rightarrow \quad R_1 = 2\cdot R$$

Por tanto si alejamos la carga 4Q una distancia igual al Radio sobre la misma línea que la une con el centro, tendremos el sistema en equilibrio, y el campo eléctrico será nulo en el centro O.

2.- Dos esferillas sumamente pequeñas, de 20 g de masa cada una y cargadas negativamente con la misma carga, están situadas en el extremos de dos hilos de seda de 1 cm de longitud, suspendidos del mismo punto. En la posición de equilibrio cada hilo forma con la vertical un ángulo de 30º. A) Calcular la tensión de los hilos en la posición de equilibrio. B) Hallar la carga de cada esfera. C) Si se descarga una de las esferillas, calcular la velocidad de la otra cuando pasa por la vertical. D) Si se desea que al descargarse una de las esferillas la otra permanezca en la misma posición de equilibrio inicial, hallar el valor, en módulo, dirección y sentido, del campo eléctrico que será necesario aplicar.



a) En el esquema de la izquierda, hemos representado la situación dada por el enunciado del problema, en él, vemos que las fuerzas que actúan sobre cada una de las esferas son el peso, la fuerza electrostática y la Tensión del hilo. Como dice que el sistema está en equilibrio, utilizando la segunda Ley de Newton llegamos a:

$$\sum_i F_i = 0$$

En el eje x: $F_e = T_x = T \cdot sen30°$

En el eje y: $P = T_y = T\cos 30°$, despejando T, tenemos: $T = \dfrac{P}{\cos 30°} = 0,226N$

b) Para calcular la carga, sustituimos en la primera ecuación: $F_e = T_x = 0,226 \cdot sen30° = 0,113N$

Por tanto; $F_e = 0,113\ N$

Como sabemos que $F_e = K \cdot \dfrac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$, y que las cargas son iguales, tenemos: $F_e = K \cdot \dfrac{q^2}{d^2}$, si despejamos el valor de la carga y sustituimos, llegamos a:

$$q = \sqrt{\frac{F_e \cdot d^2}{k}} = \sqrt{\frac{0,113N \cdot 10^{-2} m^2}{9 \cdot 10^9 N \cdot m^2 \cdot C^{-2}}} = \pm 3,54 \cdot 10^{-8} C$$

Donde la distancia d entre las cargas la hemos calculado, haciendo $x = 0,01 sen45° = 0,005m$, y por tanto:

$$d = 2x = 0,01m$$

Como en el enunciado dicen que ambas cargas son negativas, entonces:

$$\boxed{q = -3,54 \cdot 10^{-8} C}$$

c) Si una se descarga, la otra se cae. La velocidad con que la bola llega a la vertical la calcularemos utilizando el principio de conservación de energía: $E_{M_A} = E_{M_B}$ $mgh_A = \frac{1}{2} m \cdot v_B^2 \rightarrow v_B = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$

Para lo cual necesitamos saber h:

$$h = 0,01m - 0,01m \cdot \cos 30° = 0,01m - 8,66 \cdot 10^{-3} m = 1,34 \cdot 10^{-3} m$$

Por tanto $v_B = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = \sqrt{2 \cdot 9,81 m/s^2 \cdot 1,34 \cdot 10^{-3} m} = 0,162\ m/s$

d) Para hallar el campo eléctrico, como sabemos la fuerza eléctrica: $F_e = 0,113\ N$, sabemos la carga, y también sabemos que $F = q \cdot E$, despejamos E y nos queda:

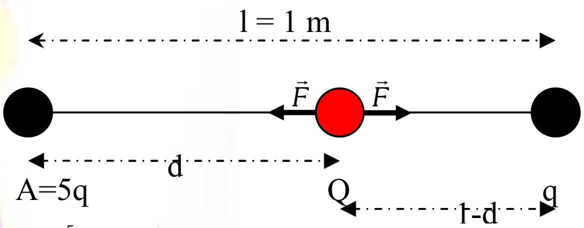
$$E=\frac{F}{q}=\frac{0{,}113N}{-3{,}54\cdot 10^{-8}C}=-3{,}19\cdot 10^{6}\,N\cdot C^{-1}$$

Por tanto el campo eléctrico será opuesto a la Fuerza electrostática. Como hemos trabajado con la partícula de la derecha, y la fuerza electrostática se dirige hacia la derecha, entonces el campo se dirige hacia la izquierda.

3.- Disponemos de tres bolitas esféricas conductoras idénticas, A, B y C, de radio tan pequeño, que se pueden considerar puntuales. Las dos primeras esferillas están fijas a una distancia l=100 cm y tienen carga eléctrica negativa, siendo la de A cinco veces mayor que la B. La esferilla C se encuentra inicialmente en el estado neutro y se puede mover libremente por la recta AB horizontal. A) Cogemos la bolita C con unas pinzas aislantes y la ponemos en contacto con la A, dejándola luego en libertad. Determinar la posición en que dicha bolita C quedará en equilibrio. B) Volvemos a coger la bolita C con las pinzas, poniéndola en contacto con la B y dejándola posteriormente libre. Determinar la nueva posición de equilibrio.

a) Sea q la carga de B y 5q la de A. Si ponemos en contacto las cargas A y C, estas llegarán al equilibrio, de forma que compartirán su carga. Por tanto:

$$q_A'=q_B'=\frac{5}{2}q$$



Tenemos que en el equilibrio, el campo creado por la A ha de ser igual al creado por la B.

$$\left.\begin{aligned}E_A&=K\frac{\frac{5}{2}Q}{d^2}\\ E_B&=K\frac{Q}{(1-d)^2}\end{aligned}\right\}E_A=E_B\quad\Rightarrow\quad K\frac{\frac{5}{2}Q}{d^2}=K\frac{Q}{(1-d)^2}\quad\Rightarrow\quad\frac{\frac{5}{2}}{d^2}=\frac{1}{(1-d)^2}$$

Operando un poquito llegamos a:

$$\frac{(1-d)^2}{d^2}=\frac{1}{\frac{5}{2}}\quad\Rightarrow\quad\frac{1-d}{d}=\sqrt{\frac{2}{5}}\quad\Rightarrow\quad\sqrt{5}-\sqrt{5}d=\sqrt{2}d\quad\Rightarrow\quad d=\frac{\sqrt{5}}{\sqrt{2}+\sqrt{5}}=0{,}613\ m$$

Por tanto, la posición de equilibrio estará a 0,613 metros de la Bola A.

B) Si ahora ponemos en contacto la B con la C, tendremos: $q_A'=\frac{5}{2}q$ y $q_B'=q_C'=\frac{q+\frac{5}{2}q}{2}=\frac{7}{4}q$

Tenemos que en el equilibrio, el campo creado por la A ha de ser igual al creado por la B.

$$\left.\begin{aligned}E_A&=K\frac{\frac{5}{2}Q}{d^2}\\ E_B&=K\frac{\frac{7}{4}Q}{(1-d)^2}\end{aligned}\right\}E_A=E_B\quad\Rightarrow\quad K\frac{\frac{5}{2}Q}{d^2}=K\frac{\frac{7}{4}Q}{(1-d)^2}\quad\Rightarrow\quad\frac{\frac{5}{2}}{d^2}=\frac{\frac{7}{4}}{(1-d)^2}$$

Operando un poquito llegamos a:

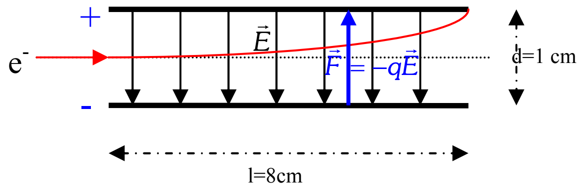
$$\frac{(1-d)^2}{d^2}=\frac{\frac{7}{4}}{\frac{5}{2}}\quad\Rightarrow\quad\frac{1-d}{d}=\sqrt{\frac{7}{10}}\quad\Rightarrow\quad\sqrt{10}-\sqrt{10}d=\sqrt{7}d\quad\Rightarrow\quad d=\frac{\sqrt{10}}{\sqrt{7}+\sqrt{10}}=0{,}544\ m$$

Por tanto, la posición de equilibrio estará a 0,544 metros de la Bola A.

4.- Un electrón se lanza con una velocidad de 10^7 ms^{-1} y penetra en la región comprendida entre dos conductores horizontales, planos y paralelos, de 8 cm de longitud y separados entre sí 1 cm, en la que existe un campo eléctrico uniforme. El electrón penetra en la región por un punto

equidistante de los dos conductores planos y, a la salida, pasa justamente por el borde del conductor superior.

a) ***Razonar qué tipo de movimiento describirá el electrón.***
b) ***Calcular el campo eléctrico que existe entre los conductores y la diferencia de potencial entre ellos.*** *(datos: q_e = -1,6·10^{-19} C ; me = 9,1·10^{-31} kg)*



a) Tenemos una combinación de dos movimientos, un MRU sobre el eje horizontal y un MRUA sobre el eje vertical. Cuya combinación nos da un movimiento Parabólico.
b) En el movimiento en el eje X, al no actuar ninguna fuerza:

$$M.R.U.\begin{cases} v = \dfrac{x}{t} \\ x = x_o + v\cdot t \end{cases}$$

Calculamos el tiempo que tarda el electrón en cruzar los dos conductores:

$$t = \frac{x}{v} = \frac{0{,}08m}{10^7 m\cdot s^{-1}} = 8\cdot 10^{-9} s$$

En el eje Y como actúa la fuerza electrostática en sentido contrario al campo, puesto que la carga es negativa, tenemos un movimiento:

$$MRUA\begin{cases} v = v_o + a\cdot t \\ y = y_o + v_{ot}\cdot t + \frac{1}{2}a\cdot t^2 \end{cases}$$

Conocido el tiempo y la distancia, calculo la aceleración:

$$y = \frac{1}{2}a\cdot t^2 \quad \Rightarrow \quad a = \frac{2y}{t^2} = \frac{2\cdot 5\cdot 10^{-3} m}{\left(8\cdot 10^{-9}\right)^2 m^2\cdot s^{-2}} = 1{,}56\cdot 10^{14} m\cdot s^{-2}$$

Conocida la aceleración y aplicando la segunda ley de Newton, tenemos que:

$$\sum F = m\cdot a \quad \Rightarrow \quad F_e = m\cdot a \quad \Rightarrow \quad q\cdot E = ma$$

Despejando la intensidad del campo, tenemos:

$$E = \frac{m\cdot a}{q} = \frac{9{,}1\cdot 10^{-31} kg\cdot 1{,}56\cdot 10^{14} m\cdot s^{-2}}{-1{,}602\cdot 10^{-19} C} = -888{,}5\ N/C$$

Por tanto el campo eléctrico es :

$$\boxed{E = -888{,}5\,\hat{j}\ NC^{-1}}$$

Como sabemos que el potencial viene dado por: $V = \frac{K\cdot q}{r}$, y el campo eléctrico por: $E = K\cdot\frac{q}{r^2}$, si comparamos ambas expresiones llegamos a: $E = V\cdot\frac{1}{r} = \frac{V}{r}$, quiere esto decir que despejando V:

$$V = E\cdot r = 888{,}5\cdot 0{,}01 = 8{,}885V$$

Y ésta sería la diferencia de potencial entre ambas placas:

$$\boxed{\Delta V = 8{,}885V}$$

5. Aceleramos un electrón desde el reposo mediante una diferencia de potencial de 10 kV.

a) ***Analizar energéticamente el proceso, calculando la velocidad que alcanza el electrón. Realizar un esquema, indicando el movimiento realizado por el electrón, y la disposición de los puntos de mayor y menor potencial.***

b) Repetir el apartado anterior para un protón, y para un neutrón
(datos: $m_p \approx m_n = 1{,}66\cdot10^{-27}$ kg ; $m_e = 9{,}1\cdot10^{-31}$ kg ; $e = 1{,}6\cdot10^{-19}$ C)

a) El incremento de energía potencial del electrón al pasar del punto 1 al punto 2 es:

$$\Delta E_p = q_e\left(V_2 - V_1\right)$$

Como la energía mecánica se conserva, tenemos que:

$$E_{M_1} = E_{M_2}$$

$$E_{c_1} + E_{p_1} = E_{c_2} + E_{p_2}$$

O lo que es lo mismo:

$$E_{c_1} - E_{c_2} = E_{p_2} - E_{p_1}$$

Por tanto, el incremento de energía cinética es igual pero de signo contrario al incremento de energía potencial.

$$\Delta E_c = q_e\left(V_1 - V_2\right)$$

Como en el punto 1 la velocidad del electrón es cero, entonces $E_{c_1} = 0$, y entonces:

$$\Delta E_c = E_{c_2} - E_{c_1} = E_{c_2} = q_e\left(V_1 - V_2\right)$$

O lo que es lo mismo:

$$\frac{1}{2}\cdot m_e \cdot v_{e_2}^2 = q_e\left(V_1 - V_2\right)$$

Despejando la velocidad del electrón en el punto 2, tenemos:

$$V_{e_2} = \sqrt{\frac{2q_e\left(V_1 - V_2\right)}{m_e}}$$

Sustituyendo valores, tenemos:

$$V_{e_2} = \sqrt{\frac{2q_e\left(V_1 - V_2\right)}{m_e}} = \sqrt{\frac{2\cdot1{,}6\cdot10^{-19}\,C\cdot10^4\,V}{9{,}1\cdot10^{-31}\,kg}} = 5{,}93\cdot10^7\,m\cdot s^{-1}$$

Como dice que la diferencia de potencial entre los puntos 1 y 2 es de 10^4 V, y como $\Delta V = V_2 - V_1$, podemos afirmar que el punto 2 tiene un potencial mayor que el punto 1.

b) Este apartado es similar al anterior, pero ahora para el caso de un protón y de un neutrón.

El incremento de energía potencial del protón al pasar del punto 1 al punto 2 es:

$$\Delta E_p = q_p\left(V_2 - V_1\right)$$

Como la energía mecánica se conserva, tenemos que:

$$E_{M_1} = E_{M_2}$$

$$E_{c_1} + E_{p_1} = E_{c_2} + E_{p_2}$$

O lo que es lo mismo:

$$E_{c_1} - E_{c_2} = E_{p_2} - E_{p_1}$$

Por tanto, el incremento de energía cinética es igual pero de signo contrario al incremento de energía potencial.

$$\Delta E_c = q_p (V_1 - V_2)$$

Como en el punto 1 la velocidad del protón es cero, entonces $E_{c_1} = 0$, y entonces:

$$\Delta E_c = E_{c_2} - E_{c_1} = E_{c_2} = q_p (V_1 - V_2)$$

O lo que es lo mismo:

$$\frac{1}{2} m_p \cdot v_{p_2}^2 = q_p (V_1 - V_2)$$

Despejando la velocidad del protón en el punto 2, tenemos:

$$V_{p_2} = \sqrt{\frac{2q_p (V_1 - V_2)}{m_p}}$$

Sustituyendo valores, tenemos:

$$V_{p_2} = \sqrt{\frac{2q_p (V_1 - V_2)}{m_p}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\, C \cdot 10^4\, V}{1{,}66 \cdot 10^{-27}\, kg}} = 1{,}39 \cdot 10^6\, m \cdot s^{-1}$$

Igual que antes, como la diferencia de potencial entre los puntos 1 y 2 es de 10^4 V, y como $\Delta V = V_2 - V_1$, podemos afirmar que el punto 2 tiene un potencial mayor que el punto 1.

c) En el caso del neutrón, como es una partícula sin carga, tenemos que:

$$\Delta E_p = q_n (V_2 - V_1) = 0$$

Y si no hay variación de E_p, tampoco la hay de E_c, porque la partícula no se mueve.

6.15.- Relación de Problemas

1- Calcular la fuerza de atracción entre un ión cloruro y un ión sodio a una distancia de $2 \cdot 10^{-8}$ cm el uno del otro, si se encuentran

a) En el vacío
b) En agua ($\varepsilon_r = 81$)

Solución: a) ($5{,}76 \cdot 10^{-9}$ N) b) ($7{,}11 \cdot 10^{-11}$ N)

2.- Dos partículas α (He^{++}), están separadas 10^{-14} m. Calcular la fuerza electrostática con la que se repelen, la fuerza gravitatoria con la que se atraen y comparar ambas entre sí.
(datos $m_\alpha = 6{,}68 \cdot 10^{-27}$ kg ; $q_e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C)

Solución: Fe = 9,216 N ; $F_g = 2{,}98 \cdot 10^{-35}$ N

3.- Dos esferas muy pequeñas (de radio despreciable) pesan 4 N cada una y están suspendidas de un mismo punto por sendos hilos de 5 cm de longitud. Al cargar cada una de las esferas con la misma carga negativa, los hilos se separan y, en la situación de equilibrio, forman un ángulo de 45° con la vertical. Calcular el valor de la carga.

Solución: Q = $-1{,}46 \cdot 10^{-6}$ C

4.- Un cuerpo cuyo peso es 1 N está cargado con 2 μC. ¿A qué distancia sobre él debe colocarse otro cuerpo cargado con 3 μ C, de signo contrario, para que el primero no caiga por la acción de su peso?

Solución: 0,23 m

5.- Una carga positiva de 2 μC está en el origen de un sistema de coordenadas. Calcular:

a) Campo eléctrico en el punto (2,3) m y fuerza electrostática ejercida sobre una partícula cargada con -2μC situada en dicho punto.
b) Potencial eléctrico V en un punto P situado a 4 m del origen (considerando $V_\infty = 0$)
c) ¿Cuánto trabajo debe ser realizado por un agente exterior para llevar una carga de 3 μC desde el infinito hasta P?

Solución: A) $E = (768\, i + 1152\, j)$ N/C ; $Fe = -1{,}54 \cdot 10\, i - 2{,}3 \cdot 10^{-4}\, j$ N) b) (V = 4500 V) c) (Wext = -We = 0,0135 J)

6.- Dos cargas eléctricas puntuales, la una A triple que la otra B, están separadas un metro. Determinar el punto en que la unidad de carga positiva está en equilibrio cuando:

a) A y B tienen el mismo signo
b) A y B tienen signos opuestos
c) ¿Se anulará el potencial electrostático en dichos puntos? Razonar.

Solución: a) $r_A = 0{,}64$ m , $r_B = 0{,}37$ m b) $r_A = 2{,}37$ m , $r_B = 1{,}37$ m

7.- Dos cargas q_1=2μC y q_2=4 μC están situadas, respectivamente, en los puntos (0,2) y (0,-2) m. Calcular:

a) Campo y potencial electrostáticos en el punto (4,0) m.
b) Trabajo necesario para trasladar una carga de 6 μC desde el infinito hasta el punto (4,0) m.

Solución: a) $E = 2415\, i + 402{,}5\, j$ N/C ; V=12075 V b) Wext = -We = 0,072 J

8.- El potencial creado por una carga puntual a cierta distancia de ella es de 600 V y el campo eléctrico en el mismo punto es 200 N/C . ¿Cuál es la distancia a la carga desde el punto? ¿Cuál es el valor de la carga?

Solución: r = 3 m , $Q = 2 \cdot 10^{-7}$ C

9.- Una carga puntual Q crea un campo electrostático. Al trasladar una carga q desde un punto A al infinito, se realiza un trabajo de 5 J. Si se traslada desde el infinito hasta otro punto C, el trabajo es de -10 J.

a) ¿Qué trabajo se realiza al llevar la carga desde el punto C hasta el A? ¿En qué propiedad del campo electrostático se basa la respuesta?
b) Si q = -2 μC, ¿Cuánto vale el potencial en los puntos A y C?

Solución: a) $W_{CA} = 5$ J b) $V_A = -2{,}5 \cdot 10^6$ V; $V_B = 5 \cdot 10^6$ V

10.- Aceleramos un electrón desde el reposo mediante una diferencia de potencial de 10 kV.

a) Analizar energéticamente el proceso, calculando la velocidad que alcanza el electrón. Realizar un esquema, indicando el movimiento realizado por el electrón, y la disposición de los puntos de mayor y menor potencial.
b) Repetir el apartado anterior para un protón, y para un neutrón.

(datos: $m_p \approx m_n = 1{,}66 \cdot 10^{-27}$ kg ; $m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg ; $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C)

Solución: a) $v = 5{,}93 \cdot 10^7$ m/s) b) protón: $v = 1{,}39 \cdot 10^6$ m/s ; neutrón: no se acelera

11.- Una partícula de carga $6 \cdot 10^{-6}$ C se encuentra en reposo en el punto (0,0). Se aplica un campo eléctrico uniforme de 500 NC-1, dirigido en el sentido positivo del eje OY.

a) Describa la trayectoria seguida por la partícula hasta el instante en que se encuentra en el punto A, situado a 2 m del origen. ¿Aumenta o disminuye la energía potencial de la partícula en dicho desplazamiento?, ¿en qué se convierte dicha variación de energía?
b) Calcule el trabajo realizado por el campo en el desplazamiento de la partícula y la diferencia de potencial entre el origen y el punto A.

Solución: $We = 6 \cdot 10^{-3}$ J ; $V_O - V_A = 1000$ V

12.- Una esfera uniformemente cargada tiene un potencial de 450 V en su superficie y a una distancia radial de 20 cm de la superficie, el potencial es de 150 V. Calcular el radio de la esfera y su carga.

Solución: R=0,1 m, $Q = 5 \cdot 10^{-9}$ C

13.- Una esfera de 8 cm de radio posee una carga eléctrica de - 0,3 μC. Calcular:

a) Potencial en un punto de la superficie.
b) Campo y potencial en un punto situado a 12 cm de la superficie.

Solución: a) V_{sup} =-33750 V ; b) E = 67500 N/C , V = -13500 V

14.- Una carga de 4 μC está distribuida uniformemente sobre una superficie esférica de 10 cm de radio. Calcular:

a) Trabajo necesario para alejar radialmente una carga de -3 μC desde un punto situado a 10 cm de la superficie esférica, una distancia de 5 cm.
b) En qué puntos sería nulo el campo si colocamos una carga puntual de 6 μC a 20 cm de distancia de la superficie esférica?

Solución: a) Wext = -We = 0,108 J b) r_1 = 0,135 m ; r_2 = 0,165 m

15.- Calcular la energía del electrón de un átomo de hidrógeno en su estado fundamental (según el modelo de Böhr) (Datos: $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg, $r = a_0 = 0,53 \cdot 10^{-10}$ m

Solución: E=-13,56 eV

16.- Una carga de +1 μC se coloca a 1 cm de un alambre largo delgado, cargado con +5 μC/m. Calcula la fuerza que el alambre ejerce sobre esa carga. Calcula la diferencia de potencial existente entre ese punto y otro situado a 3 cm del alambre. ¿Qué trabajo hay que realizar para llevar la carga dada desde este punto al anterior? ¿Y al revés?.

Solución: F=9N, $\Delta V = 1,8 \cdot 10^4$ V, W=0,018 J, W=-0,018 J

17.- Un electrón penetra en un campo eléctrico uniforme, de 10^5 V/m, perpendicularmente a sus líneas de fuerza, con una velocidad inicial de 10^4 m/s. Calculad la aceleración que experimenta el electrón, la ecuación de la trayectoria que describe, y su velocidad al cabo de 1 s de penetrar en ese campo. ($q_e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ C; $m_e = 9.11 \cdot 10^{-31}$ Kg)

Solución: 1.76 10^{16} m/s^2; y=8.78 10^7 x^2; 1.76 10^{16} m/s.

6.16.- Para saber más

18.- Supón una carga puntal de 2 μC. ¿Qué fuerza de atracción ejercerá sobre otra carga de 3 000 uee, de signo contrario, situada en el vacío, a 3 cm de distancia?

Solución: F = 20 N.

19.- ¿Cuál seria la fuerza de atracción en el problema anterior si el medio interpuesto entre las cargas fuese azufre? La permitividad relativa del azufre es 4.

Solución: F = 5 N.

20.- Dos cargas eléctricas iguales, a 2 cm de distancia en el vacío, se repelen con 100 dyn de fuerza. ¿Cuánto valen las cargas eléctricas?

Solución: $Q = \pm\frac{20}{3} nC$

21.- Un cuerpo de 100 g está cargado con 10 000 uee. ¿A qué distancia de él debe colocarse otro cuerpo cargado con 100 000 uee de signo contrario para que el primero no caiga por la acción de su peso?

Solución: r = 1 m.

22.- ¿Cuál es la fuerza eléctrica y la gravitatoria entre dos partículas alfa situadas en el vacío a 1 $\overset{o}{A}$ de distancia? Calcular también la relación entre ambas fuerzas. La carga de la partícula α es $3,2 \cdot 10^{-19}$ C y su masa es de $6,62 \cdot 10^{-27}$ Kg.

Solución: $F_e = 9,2 \cdot 10^{-8}$ N; $F_g = 2,9 \cdot 10^{-43}$ N; $F_e/F_g = 3,2 \cdot 10^{35}$.

23.- Tres cargas iguales de 2 μC cada una se sitúan en el vacío sobre los vértices de un triángulo rectángulo cuyos catetos miden 6 cm y 8 cm. ¿Cuánto vale la fuerza que actúa sobre la carga situada en el vértice del ángulo recto?

Solución: F = 11,47 N.

24.- Supón que las cargas de 2 μC del problema anterior se sitúan en los vértices de un triángulo equilátero de 10 cm de lado. ¿Qué fuerza actuará sobre cada una de ellas?

Solución: F = 6,24 N.

25.- Tres cargas de 2 μC cada una están situadas en los vértices de un triángulo rectángulo isósceles. Se sabe que la fuerza que actúa sobre la carga situada en el vértice del ángulo recto vale $5,66 \cdot 10^3$ N. ¿Cuánto miden los catetos del triángulo?

Solución: 1 = 3 mm.

26.- La carga de una esfera metálica A vale +0,066 μC y una segunda esfera metálica B tiene una carga de 0,026 μC. Las dos esferas, que pueden considerarse puntuales, se ponen en contacto un momento. Se pregunta la fuerza que actúa entre ellas cuando se separan nuevamente hasta que disten entre sí 30 cm.

Solución: $F = 4 \cdot 10^{-5}$ N.

27.- Disponemos de tres bolitas esféricas conductoras idénticas, A, B y C, de radio tan pequeño, que se pueden considerar puntuales. Las dos primeras esferillas están fijas a una distancia l=100 cm y tienen carga eléctrica negativa, siendo la de A cinco veces mayor que la B. La esferilla C se encuentra inicialmente en el estado neutro y se puede mover libremente a la recta AB horizontal. A) Cogemos la bolita C con unas pinzas aislantes y ponemos en contacto con la A, dejándola luego en libertad. Determinar la posición en que dicha bolita C quedará en equilibrio. B) Volvemos a coger la bolita C con las pinzas, poniéndola en contacto con la B y dejándola posteriormente libre. Determinar la nueva posición de equilibrio.

Solución: a) a 0,613 m de la A; b) a 0,544 m de la A.

28.- Si situamos una carga positiva de 2 μC en el origen de coordenadas, encontramos que experimenta una fuerza de $8 \cdot 10^{-4}$ N en la dirección positiva del eje OX. A)¿Cuál es el valor y el sentido del campo eléctrico en dicho punto? b) ¿Cuál sería la fuerza que se ejercería en dicho punto sobre una carga negativa de 6 μC?

Solución: a) $\vec{E} = 400\,\vec{i}$ (SI); b) $\vec{F} = -2,4 \cdot 10^{-3}\,\vec{i}$ (SI).

29.- ¿Qué exceso de electrones habría que añadirse a una esfera conductora (en el vacío) de 10 cm de diámetro para que en un punto muy próximo a su superficie haya un campo de 10^{-3} N/C? .

Solución: $n = 1,74 \cdot 10^3$ electrones.

30.- Tenemos un campo eléctrico uniforme, dirigido verticalmente de abajo hacia arriba, cuya intensidad es de 10^4 N/C. a) Calcúlese la fuerza ejercida por este campo sobre un electrón. b) Compárese la fuerza ejercida con el peso del electrón. c) Calcúlese la velocidad que adquirirá el electrón cuando haya recorrido 1 cm partiendo del reposo. D) Calcúlese le energía cinética adquirida. E) Calcúlese el tiempo que necesita para recorrer la distancia de 1 cm. (Datos: $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C; $m_e = 9,1 \cdot 10^{-28}$ g.)

Solución: a) $F = 1,6 \cdot 10^{-15}$ N; b)$F/P = 1,76 \cdot 10^{14}$; c)$v = 5,93 \cdot 10^6$ m/s; d)$E_c = 1,6 \cdot 10^{-17}$ J; e)$t = 3,37 \cdot 10^{-9}$ s.

31.- Dos cargas eléctricas puntuales, una de $+\frac{1}{3}$ nC y otra de $-\frac{2}{3}$ nC, distan entre sí 10 cm en vacío . Hallar la intensidad del campo eléctrico en el punto medio del segmento que une ambas cargas. ¿ Y si las dos cargas fueran positivas?

Solución: $E = 3,6 \cdot 10^3$ N/C; $E' = 1,2 \cdot 10^3$ N/C.

32.- De dos hilos de 1 cm de longitud, sujetos al mismo punto del techo, cuelgan dos esferillas iguales, de 1 gramo de masa cada una. Se cargan idénticamente ambas esferillas, con lo cual se repelen hasta que sus hilos forman entre si un ángulo de 90º. Hallar el valor de la carga eléctrica comunicada a cada esfera.

Solución: Q = ±1,475 μC.

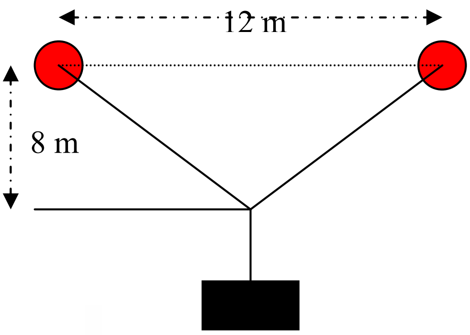
.

33.- Dos esferillas sumamente pequeñas, de 20 g de masa cada una y cargadas negativamente con la misma carga, están situadas en los extremos de dos hilos de seda de 1 m de longitud, suspendidos del mismo punto. En la posición de equilibrio cada hilo forma con la vertical un ángulo de 30º. A) Calcular la tensión de los hilos en la posición de equilibrio. B) Hallar la carga de cada esfera. C) Si se descarga una de las esferillas, calcular la velocidad de la otra cuando pasa por la vertical. D) Si se desea que al descargarse una de las esferillas la otra permanezca en la misma posición de equilibrio inicial, hallar el valor, en módulo, dirección y sentido, del campo eléctrico que será necesario aplicar.

Solución: A) T=0,226 N; B) Q=-3,54 μC; C) v=1,62 $m \cdot s^{-1}$; D) E=3,19·10^4 N/C, en la misma dirección y sentido contrario al de la fuerza que antes actuaba.

34.- Disponemos de dos globos exactamente iguales, de masas muy pequeñas, que, tras ser llenados con helio en condiciones normales de temperatura y presión, se unen mediante dos hilos, a los que se ata un cuerpo de 8 g. En el centro de ambos globos se colocaron previamente dos cargas eléctricas positivas iguales, Q. Tras alcanzar el equilibro, el conjunto adquiere la disposición que se indica en la figura. Determinar: A) La tensión en los hilos, B) La carga Q.

Solución: A) T=4,9 · 10^{-2} N; B) Q = 21,7 μC.



35.- Dos pequeños péndulos eléctricos están sujetos del mismo punto y sus respectivos hilos de suspensión, de masa despreciable, son de la misma longitud, de tal forma que ambas esferas están en contacto. Se cargan las dos esferas con la misma carga, repeliéndose hasta que los hilos de ambos péndulos forman un ángulo de 90°. Determinar que fracción de la carga original han perdido cuando el ángulo entre ambos se reduce a 60°.

Solución: ΔQ/Q = 0,463.

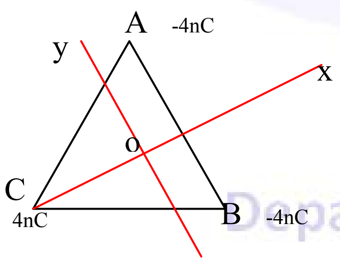
36.- Supongamos dos cargas positivas e iguales separadas por una distancia 2a. Por el punto medio del segmento que las une se traza un plano perpendicular al segmento. El lugar geométrico de los puntos de dicho plano en que la intensidad de campo es máxima es, por razón de simetría, una circunferencia. Calcular su radio.

Solución: $r = \frac{a}{\sqrt{2}}$.

37.- Si en un campo eléctrico abandonamos libremente una carga eléctrica, ¿se desplazará siguiendo la línea de fuerza que pasa por el punto inicial?

38.- Una esfera metálica conductora tiene una densidad superficial de carga de 8,85 · 10^{-8} C · m^{-2}. Calcular el radio de dicha esfera, sabiendo que la intensidad del campo eléctrico creado por ella en un punto situado exteriormente a 2 m de su superficie es 3 600 N/C.

Solución: R = 3 m.



39.- Hallar el vector intensidad de campo en el centro de masas del triángulo equilátero de la figura, cuyo lado mide $\sqrt{3}$ m, estando situadas en sus vértices las cargas que se indican.

Solución: $\vec{E} = 72\ \vec{i}$ (SI).

40.- Si se toma la tierra como origen de potenciales, ¿por qué en la definición de esta magnitud decimos que V = 0 para $r \to \infty$?

41.- Una carga de 600 fránklines crea un campo eléctrico en el vacío. Calcular: A) La intensidad en un punto del campo situado a 3 mm de la carga; B) El potencial en dicho punto; C) La fuerza con que el campo actúa sobre una carga puntual de 1 μC colocada en dicho punto.

Solución: A)E = 2 · 10^8 N/C; B) V = 6 · 10^5 V; C)F = 200 N.

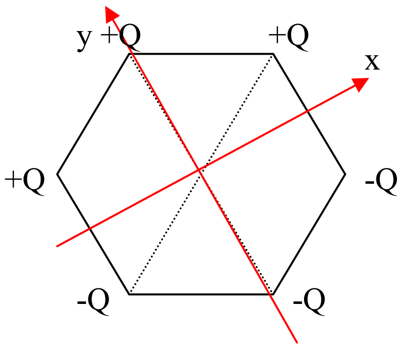
42.- Una carga de 5 μC crea un campo eléctrico en el aire. A) ¿Cuánto vale el potencial en dos puntos situados a 3 cm y 5 cm, respectivamente, de la carga?. B) ¿Qué trabajo se realiza al trasladar una carga de 2 μC desde un punto a otro?

Solución: A)V_1 = 1,5 · 10^6 V; V_2 = 9 · 10^5 V; B)W = 1,2 J.

43.- Dos cargas puntuales de $+25\cdot10^{-9}$C se encuentran situadas en los puntos (3,0) y (-3,0), respectivamente, estando sus coordenadas expresadas en metros. Calcular el campo y el potencial electrostáticos en el punto (0, 4).

Solución: $\vec{E}$ = 14,4 $\vec{j}$ (N/C); V = 90 V.

44.- En los puntos de la figura, referidos a un sistema plano de ejes coordenados y que corresponden a los vértices de un hexágono regular de 5 cm de lado, están situadas las cargas que se indican (Q=1 nC). Hallar el valor del campo eléctrico en el origen de coordenadas, que coincide con el centro del hexágono.



Solución: $\vec{E}$ = - 14 400 $\vec{j}$ (SI).

45.- Dadas dos cargas de $+3\cdot10^{-9}$ C y $-4\cdot10^{-9}$ C, colocadas, respectivamente, en los puntos (4,0,0) y (0,0,4), calcular: A) el potencial eléctrico en el punto (0,3,0); B) el trabajo necesario para llevar una carga de prueba (1C) desde este punto al (0,0,0). Las coordenadas están expresadas en metros.

Solución: a)V = -1,8 V; B)W = 0,45 J (realizado por las fuerzas del campo).

46.- Determinar el campo eléctrico y el potencial en el punto P, vértice recto de un triángulo rectángulo de catetos 3 y 4 metros, sabiendo que la carga más lejana es de -4μC y la más cercana es de 2μC. Calcular el trabajo necesario para transportar una carga Q'=-3μC desde el punto P hasta el punto medio de la hipotenusa.

Solución: $E_p = 3{,}01 \cdot 10^3$ N/C; $V_p = -3 \cdot 10^3$ V; W = $-1{,}26 \cdot 10^{-2}$ J (contra las fuerzas del campo)

47.- Se tienen dos cargas eléctricas puntuales: Q_1 = 20 nC y Q_2 = -20 nC, situadas en la base de un triángulo isósceles de lados iguales 4 metros y base 6. Calcular: A) el potencial eléctrico en el vértice superior (sin carga); B) el trabajo que es necesario realizar para trasladar una carga puntual de +4 nC desde el punto B, situado en la base del triángulo y a 2 metros de la carga negativa, hasta el punto A.

Solución: a)V_A = 0 V; B)W = $-1{,}8 \cdot 10^{-7}$ J (contra las fuerzas del campo).

48.- En un punto situado a una cierta distancia de una carga puntual el potencial eléctrico es de 1 200 V y el campo eléctrico en ese mismo punto es 400 N/C. Determinar el valor de la carga y a qué distancia de ella está situado el punto en cuestión.

Solución: Q = $4 \cdot 10^{-7}$ C; r = 3 m.

49.- En los puntos (1, 0) y (0, 1) de un sistema cartesiano plano, cuyas dimensiones se expresan en metros, existen dos cargas fijas de +1/9 y -1/3 μC, respectivamente. A) el valor de la intensidad del campo eléctrico en el origen de coordenadas. Hágase un esquema vectorial claro; B) el valor del potencial eléctrico en el origen y en el punto (1, 1); C) el trabajo necesario para trasladar una carga de +3 μC desde el origen al punto (1, 1).

Solución: A) $\vec{E}$ = -1 000 $\vec{i}$ + 3 000 $\vec{j}$ (SI); B) $V_{(0,0)}$ = -2 000 V; $V_{(1,1)}$ = -2 000 V; C) W = 0 J.

50.- Dos gotas de agua, aisladas, de radios 0,5 mm y 0,8 mm, están cargadas con 40 uee y 50 uee, respectivamente. Dichas gotas reúnen para originar una sola gota. Calcular: a) El radio de esta gota; B) La carga total que adquiere; C) El potencial en un punto de su superficie.

Solución: a) R = $8{,}6 \cdot 10^{-4}$m; b) Q = 90 uee; c) V = $3{,}14 \cdot 10^5$ V.

51.- Dos pequeñas esferas metálicas, A y B, cuyos radios respectivos son: r_A = 1 cm y r_B = 4 cm, colocadas a 1 m de distancia en el vacío y cargadas con electricidades del mismo signo, se repelen con una fuerza de $2 \cdot 10^{-3}$ N. Se las pone en contacto y se las coloca luego a una distancia igual a la cuarta parte de antes, siendo entonces la fuerza de repulsión entre ellas de $5{,}76 \cdot 10^{-3}$ N. Calcular: A) la carga inicial de las dos esferas; B)el potencial eléctrico que tienen al final.

Solución: a) Q_A = 1/3 μC; Q_B =2/3 μC; b) V' = $1{,}8 \cdot 10^5$ V.

52.- Una misma cantidad de electricidad se distribuye en una esfera de radio 10 cm y en otra de radio 20 cm. Calcular: a) La relación de densidades eléctricas; b) La relación entre los respectivos potenciales en cada una de las superficies.

Solución: a) $\sigma_1/\sigma_2 = 4$; b) $V_1/V_2 = 2$.

53.- Se tienen dos cargas iguales y de signos contrarios, situadas la primera, Q, en el punto (0, 0, 0) y la segunda, -Q, en el punto (0, 2, 0). Determínese la función escalar del potencial en cada punto del campo. Calcúlese, asimismo, la ecuación de la superficie equipotencial .

Solución: $V = \frac{1}{4\pi\varepsilon\cdot\varepsilon_o}\left[\frac{Q}{\sqrt{x^2+y^2+z^2}} - \frac{Q}{\sqrt{x^2+(y-2)^2+z^2}}\right]$; el plano y = 1.

54.- La intensidad de un campo eléctrico varia según la expresión: $E = x^3 - 3x^2$ (SI). Calcular la diferencia de potencial entre dos puntos A y B, determinados por las coordenadas $X_A = 0$ y $X_B = 2$ m.

Solución: $V_B - V_A = 4V$.

55.- En el origen de coordenadas se encuentra situada una carga puntual positiva de 2 nC, mientras que otra puntual, negativa, de 5 nC, está fija, sobre el eje de ordenadas, a 4 m del origen. Determinar: A) la intensidad de campo eléctrico en el punto A, situado a 3 m del origen sobre el eje de abscisas; b) El trabajo que es necesario realizar para trasladar una carga de 2nC desde B, cuyas coordenadas son (6, 8) metros, a A.

Solución: a) $\vec{E} = 0{,}92\vec{i} + 1{,}44\vec{j}$ (SI); b) W = -2,88 · 10^{-9} J (contra las fuerzas del campo).

56.- El potencial eléctrico en un punto viene dado por la ecuación: $V = 4x + 2y^2 - z^3$ en la que V se expresa en voltios y las coordenadas x, y, z en metros. Determinar el vector intensidad de campo eléctrico en el punto (2,-1,1).

Solución: $\vec{E} = -4\vec{i} + 4\vec{j} + 3\vec{k}$

57.- Calcular el flujo de campo eléctrico que atraviesa un hemisferio de radio R, situado en el interior de un campo $\vec{E}$ uniforme y paralelo al eje del hemisferio.

Solución: $\phi = \pi R_2 \cdot E$.

58.- Ocho cargas iguales de $5\cdot10^{-4}$ C se encuentran en los vértices de un cubo regular de 1 m de lado. En el centro del cubo se encuentra situada una novena carga de valor $-7\cdot10^{-3}$ C. Si consideramos una superficie esférica con centro coincidente con el del cubo y radio R, calcular el flujo del campo eléctrico creado a través de dicha superficie, en los siguientes supuestos: a)El radio de la esfera tiene un valor $R_1 = 0{,}5$ m; B)el radio de la esfera vale $R_2 = 2$ m.

Solución: a) ϕ = -7,9 · 10^8 V · m; b) ϕ = -3,4 · 10^8 V · m.

59.- Dos cargas eléctricas puntuales, de 3 μC, se encuentran fijas en los puntos de coordenadas (2, 0) y (0, 1) soltamos una partícula de 30 gramos de masa y carga 0,5 μC. ¿Qué velocidad tendrá está partícula al pasar por el punto (0, 3)? Considerar despreciables las fuerzas gravitatorias. Las coordenadas están expresadas en metros.

Solución: v = 0,555 m/s.

60.- Una bolita de 1 g cargada con +5μC pende de un hilo que forma 60° con la vertical en una región en la que existe un campo eléctrico uniforme en dirección horizontal.

a) Explique con ayuda de un esquema qué fuerzas actúan sobre la bolita y calcule el valor del campo eléctrico.
b) Razone qué cambios experimentaría la situación de la bolita si:
    1) Se duplicara el campo eléctrico.
    2) Si se duplicara la masa de la bolita.

Solución: a) $T=2\cdot10^{-2}$ N, $F_e=1{,}73\cdot10^{-2}$ N, $E=3{,}46\cdot10^{3}$ $N\cdot C^{-1}$ b) 1) Aumenta α, Aumenta T 2) Disminuye α, Disminuye T

61.- Tres cargas de 1, -2 y 1μC se encuentran en los tres vértices consecutivos (3,0); (3,3); (0,3) de un cuadrado de 3m de lado. Calcular:

a) La intensidad del campo eléctrico y el potencial en el cuarto vértice.

b) El trabajo necesario para llevar una carga de 1,5μC desde el centro del cuadrado hasta dicho vértice.
c) Con este trabajo, ¿Aumenta o disminuye la energía electrostática del sistema?.

Solución: a) $E_4=(-410i - 410j)\ N\cdot C^{-1}$

62.- Se somete una partícula de 0,1 gr y de 1μC a la acción de un campo eléctrico uniforme de 200 N/C en la dirección del eje Y. Inicialmente la partícula está en el origen de coordenadas moviéndose con una velocidad de 1 m/s según el eje X. Si ignoramos la acción de la gravedad, calcular:
a) El lugar donde colisionará con una pantalla perpendicular al eje X situada a 1 metro del origen.
b) La energía cinética que posee la partícula en ese instante.

Solución: a) En el punto (1,1) m. b) $E_c=2{,}5\cdot 10^{-4}$ J

63.- Entre dos láminas metálicas paralelas, separadas 2cm, existe un campo eléctrico uniforme de intensidad $E=8\cdot 10^4$ N/C. Determinar:
a) El módulo de la fuerza ejercida por el campo sobre un electrón situado entre sus láminas.
b) La energía cinética del electrón al llegar a la lámina positiva, si inicialmente, se encontraba en reposo en contacto con la lámina negativa.
c) La diferencia de potencial entre las láminas y el trabajo desarrollado en el desplazamiento del electrón.

Solución: a) $F=1{,}28\cdot 10^{-14}$ N, b) $E_c=2{,}55\cdot 10^{-16}$ J, c) $\Delta V=1600$ V, $W=2{,}56\cdot 10^{-16}$ J

6.17.- Ejercicios propuestos en Selectividad

(97-E) Una carga puntual Q crea un campo electrostático. Al trasladar una carga q desde un punto A al infinito, se realiza un trabajo de 5 J. Si se traslada desde el infinito hasta otro punto C, el trabajo es de 10 J.
a) ¿Qué trabajo se realiza al llevar la carga desde el punto C hasta el A? ¿En qué propiedad del campo electrostático se basa la respuesta?
b) Si q = - 2C, ¿cuánto vale el potencial en los punto A y C? Si el punto A es el más próximo a la carga Q, ¿cuál es el signo de Q? ¿por qué?

(97-R) Determine, razonadamente en qué punto (o puntos) del plano XY es nula la intensidad de campo eléctrico creado por dos cargas idénticas de $q_1 = q_2 = -4 \times 10^{-6}$ C, situadas respectivamente en los puntos (-2,0) y (2,0). ¿Es también nulo el potencial en ese punto (o puntos)? Calcule en cualquier caso su valor.
$K_e = 9 \times 10^9\ N\cdot m^2\cdot C^{-2}$

(98-E) Una partícula de carga 6×10^{-6} C se encuentra en reposo en el punto (0,0). Se aplica un campo eléctrico uniforme de 500 N/C, dirigido en el sentido positivo del eje OY.
a) Describa la trayectoria seguida por la partícula hasta el instante en que se encuentra en el punto A, situado a 2 m del origen. ¿Aumenta o disminuye la energía potencial de la partícula en dicho desplazamiento?, ¿en qué se convierte dicha variación de energía?
b) Calcule el trabajo realizado por el campo en el desplazamiento de la partícula y la diferencia de potencial entre el origen y el punto A.

(98-E) Dos cargas puntuales, $q_1 = 3 \times 10^{-6}$ C y $q_2 = 12 \times 10^{-6}$ C, están situadas, respectivamente, en los puntos A y B de una recta horizontal, separados 20 cm.
a) Razone cómo varía el campo electrostático entre los punto A y B y representar gráficamente dicha variación en función de la distancia al punto A.
b) ¿Existe algún punto de la recta que contiene a las cargas en el que el campo sea cero? En caso afirmativo, calcule r su posición.

$$K_e = 9 \times 10^9\ N\cdot m^2\cdot C^{-2}$$

(98-R) Dos cargas $q_1 = 2 \times 10^{-6}$ C y $q_2 = -4 \times 10^{-6}$ C están fijas en los puntos P_1 (0,2) m. y P_2 (1,0) m., respectivamente.
a) Dibuje el campo eléctrico producido por cada una de las cargas en el punto O (0,0) m. y en el punto P (1,2) m. y calcule r el campo eléctrico total en el punto P.
b) Calcule el trabajo necesario para desplazar una carga $q = -3 \times 10^{-6}$ C desde el punto O hasta el punto P y explique el significado físico de dicho trabajo.

$K_e = 9 \times 10^9\ N{\cdot}m^2{\cdot}C^{-2}$

(99-R) Dos partículas con cargas positivas iguales de 4×10^{-6} C ocupan dos vértices consecutivos de un cuadrado de 1 m de lado.

a) Calcule el potencial electrostático creado por ambas cargas en el centro del cuadrado. ¿Se modificaría el resultado si las cargas fueran de signos opuestos?
b) Calcule el trabajo necesario para trasladar una carga de 5×10^{-7} C desde uno de los vértices restante hasta el centro del cuadrado. ¿Depende este resultado de la trayectoria seguida por la carga?

$K_e = 9 \times 10^9\ N{\cdot}m^2{\cdot}C^{-2}$

(00-E) En las proximidades de la superficie terrestre se aplica un campo eléctrico uniforme. Se observa que al soltar una partícula de 2 g cargada con $5{\cdot}10^{-5}$ C permanece en reposo.

a) Determine razonadamente las características del campo eléctrico (módulo dirección y sentido).
b) Explique que ocurriría si la carga fuera: i) $10{\cdot}10^{-5}$ C ; ii) $-5{\cdot}10^{-5}$ C.

(00-R) Dos cargas puntuales, $q_1 = 2 \times 10^{-6}$ C y $q_2 = 8 \times 10^{-6}$ C, están situadas en los puntos (-1, 0) m y (2, 0) m, respectivamente.

a) Determine en qué punto del segmento que une las dos cargas es nulo el campo y/o el potencial electrostático. ¿Y si fuera $q_1 = -2 \times 10^{-6}$ C?
b) Explique, sin necesidad de hacer cálculos, si aumenta o disminuye la energía electrostática cuando se traslada otra carga, **Q**, desde el punto (0, 20) m hasta el (0, 10) m.

$K_e = 9 \times 10^9\ N{\cdot}m^2{\cdot}C^{-2}$

(00-R) Un electrón acelera mediante una diferencia de potencial de 5×10^3 V.

a) Haga un análisis energético del proceso y calcule r la velocidad y la longitud de onda de los electrones, una vez acelerados.
b) Explique, sin necesidad de hacer cálculos, los cambios respecto al apartado anterior si la partícula acelerada fuera un protón.

$h = 6{,}36{\cdot}10^{-34}$ J s ; $e = 1{,}6{\cdot}10^{-19}$ C ; $m_e = 9{,}1{\cdot}10^{-31}$ kg

(01-E) Dos partículas de 10 g se encuentran suspendidas por dos hilos de 30 cm desde un mismo punto. Si se les suministra a ambas partículas la misma carga, se separan de modo que los hilos forman entre sí un ángulo de 60º.

a) Dibuje en un diagrama las fuerzas que actúan sobre las partículas y analice la energía del sistema en esa situación.
b) Calcule el valor de la carga que se suministra a cada partícula.

$K_e = 9 \times 10^9\ N{\cdot}m^2{\cdot}C^{-2}$; $g = 10\ m\ s^{-2}$.

(01-R) El campo eléctrico en un punto P, creado por una carga q situada en el origen, es de 2000 N C^{-1} y el potencial eléctrico en P es de 6000 V.

a) Determine el valor de q y la distancia del punto P al origen. C
b) Calcule el trabajo realizado al desplazar otra carga $Q = 1{,}2 \cdot 10^{-6}$ C desde el punto (3, 0) m al punto (0, 3) m. Explique por qué no hay que especificar la trayectoria seguida.

$K_e = 9 \times 10^9\ N{\cdot}m^2{\cdot}C^{-2}$

(01-R) Dos cargas $q_1 = -2 \cdot 10^{-8}$ C y $q_2 = 5 \cdot 10^{-8}$ C están fijas en los puntos $x_1 = -0{,}3$ m. y $x_2 = 0{,}3$ m del eje OX, respectivamente.

a) Dibuje las fuerzas que actúan sobre cada carga y determine su valor.
b) Calcule el valor de la energía potencial del sistema formado por las dos cargas y haga una representación aproximada de la energía potencial del sistema en función de la distancia entre las cargas.

$K_e = 9 \times 10^9\ N{\cdot}m^2{\cdot}C^{-2}$

(02-E) Dos cargas puntuales iguales, de $-1{,}2 \cdot 10^{-6}$ C cada una, están situadas en los puntos A (0, 8) m y B (6, 0) m. Una tercera carga, de $-1{,}5 \cdot 10^{-6}$ C, se sitúa en el punto P (3,4) m.

a) Represente en un esquema las fuerzas que se ejercen entre las cargas y calcule la resultante sobre la tercera carga.
b) b) Calcule la energía potencial de dicha carga.

$K_e = 9 \times 10^9 \ N{\cdot}m^2{\cdot}C^{-2}$

(02-E) Un haz de electrones se acelera, desde el reposo, mediante una diferencia de potencial de 10^4 V.

a) Haga un análisis energético del proceso y calcule la longitud de onda asociada a los electrones tras ser acelerados, indicando las leyes físicas en que se basa.

b) Repita el apartado anterior, si en lugar de electrones, aceleramos protones, en las mismas condiciones.

$h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ J s ; $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C ; $m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg ; $m_p = 1{,}7 \cdot 10^{-27}$ kg

(03-E) Dos pequeñas bolitas, de 20 g cada una, están sujetas por hilos de 2,0 m de longitud suspendidas de un punto común. Cuando ambas se cargan con la misma carga eléctrica, los hilos se separan hasta formar un ángulo de 15º. Suponga que se encuentran en el vacío, próximas a la superficie de la Tierra:

a) Calcule la carga eléctrica comunicada a cada bolita.

b) Se duplica la carga eléctrica de la bolita de la derecha. Dibuje en un esquema las dos situaciones (antes y después de duplicar la carga de una de las bolitas) e indique todas las fuerzas que actúan sobre ambas bolitas en la nueva situación de equilibrio.

$K = 9 \ 10^9$ N m^2C^{-2} ; $g = 10$ m s^{-2}

(03-R) Dos cargas $q_1 = 10^{-6}$ C y $q_2 = - 4 \cdot 10^{-8}$ C están situadas a 2 m una de otra.

a) Analice, haciendo uso de las representaciones gráficas necesarias, en qué lugar a lo largo de la recta que las une, se anula la intensidad del campo electrostático creado por estas cargas.

b) Determine la situación de dicho punto y calcule el potencial electrostático en él.

$K= 9 \cdot 10^9$ N m^2 C^{-2}

(05-E) Una esfera pequeña de 100 g, cargada con 10^{-3} C, está sujeta al extremo de un hilo aislante, inextensible y de masa despreciable, suspendido del otro extremo fijo. a) Determine la intensidad del campo eléctrico uniforme, dirigido horizontalmente, para que la esfera se encuentre en reposo y el hilo forme un ángulo de 30º con la vertical. b) Calcule la tensión que soporta el hilo en las condiciones anteriores. g = 10 ms^{-2}

(05-R) El campo eléctrico en las proximidades de la superficie de la Tierra es aproximadamente 150 N C^{-1} , dirigido hacia abajo. a) Compare las fuerzas eléctrica y gravitatoria que actúan sobre un electrón situado en esa región. b) ¿Qué carga debería suministrarse a un clip metálico sujetapapeles de 1 g para que la fuerza eléctrica equilibre su peso cerca de la superficie de la Tierra?

$me = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg ; $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C ; $g = 10$ m s^{-2}

(05-R) Un electrón, con una velocidad de $6 \cdot 10^6$ m s^{-1}, penetra en un campo eléctrico uniforme y su velocidad se anula a una distancia de 20 cm desde su entrada en la región del campo. a) Razone cuáles son la dirección y el sentido del campo eléctrico.
b) Calcule su módulo. $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C ; $me = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg

(06-R) Un electrón se mueve con una velocidad de $5 \cdot 10^5$ m s^{-1} y penetra en un campo eléctrico de 50 N C^{-1} de igual dirección y sentido que la velocidad.

a) Haga un análisis energético del problema y calcule la distancia que recorre el electrón antes de detenerse.

b) Razone qué ocurriría si la partícula incidente fuera un protón.

$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C ; $m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg ; $m_p = 1{,}7 \cdot 10^{-27}$ kg

(06-E) Una partícula con carga $2 \cdot 10^{-6}$ C se encuentra en reposo en el punto (0,0). Se aplica un campo eléctrico uniforme de 500 N C^{-1} en el sentido positivo del eje OY.

a) Describa el movimiento seguido por la partícula y la transformación de energía que tiene lugar a lo largo del mismo.

b) Calcule la diferencia de potencial entre los puntos (0,0) y (0,2) m y el trabajo realizado para desplazar la partícula entre dichos puntos.

(07-E) Una partícula de masa m y carga -10^{-6} C se encuentra en reposo al estar sometida al campo gravitatorio terrestre y a un campo eléctrico uniforme E = 100 N C^{-1} de la misma dirección.

a) Haga un esquema de las fuerzas que actúan sobre la partícula y calcule su masa.
b) Analice el movimiento de la partícula si el campo eléctrico aumentara a 120 N C^{-1} y determine su aceleración.

$$g = 10 \text{ m s}^{-2}$$

(08-E) Una bolita de plástico de 2 g se encuentra suspendida de un hilo de 20 cm de longitud y, al aplicar un campo eléctrico uniforme y horizontal de 1000 N C- 1, el hilo forma un ángulo de 15º con la vertical.

a) Dibuje en un esquema el campo eléctrico y todas las fuerzas que actúan sobre la esfera y determine su carga eléctrica.
b) Explique cómo cambia la energía potencial de la esfera al aplicar el campo eléctrico.

$$g = 10 \text{ m s}^{-2}$$

(08-R) El potencial eléctrico en un punto P, creado por una carga Q situada en el origen, es 800 V y el campo eléctrico en P es 400 N C^{-1}.

a) Determine el valor de Q y la distancia del punto P al origen.
b) Calcule el trabajo que se realiza al desplazar otra carga $q = 1{,}2 \cdot 10^{-6}$ C desde el punto (3, 0) m al punto (0, 3) m. Explique por qué no hay que especificar la trayectoria seguida.

$$K = 9 \cdot 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$$

(09-R) Considere dos cargas eléctricas puntuales $q_1 = 2.10^{-6}$C y $q_2 = -4.10^{-6}$ C separadas 0,1 m.

a) Determine el valor del campo eléctrico en el punto medio del segmento que une ambas cargas. ¿Puede ser nulo el campo en algún punto de la recta que las une? Conteste razonadamente con ayuda de un esquema.
b) Razone si es posible que el potencial eléctrico se anule en algún punto de dicha recta y, en su caso, calcule la distancia de es punto a las cargas.

$$K = 9 \cdot 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$$

(09-R) Una bolita de 1 g, cargada con $+5 \cdot 10^{-6}$ C, pende de un hilo que forma 60º con la vertical en una región en la que existe un campo eléctrico uniforme en dirección horizontal.

a) Explique con ayuda de un esquema qué fuerzas actúan sobre la bolita y calcule el valor del campo eléctrico.
b) Razone qué cambios experimentaría la situación de la bolita si: i) se duplicara el campo eléctrico; ii) se duplicara la masa de la bolita.

$$g = 10 \text{ m s}^{-2}$$

(10-R) Una partícula de 5gr, cargada con $-6 \cdot 10^{-6}$ C se mueve con una velocidad de 0,2 $m \cdot s^{-1}$ en el sentido positivo del eje X y penetra en la región x>0, en la que existe un campo eléctrico uniforme de 500 $N \cdot C^{-1}$ dirigido en el sentido positivo del eje Y.

a) Describa, con ayuda de un esquema, la trayectoria seguida por la partícula y razone si aumenta o disminuye la energía potencial de la partícula en su desplazamiento.
b) Calcule el trabajo realizado por el campo eléctrico en el desplazamiento de la partícula desde le punto (0,0) m hasta la posición que ocupa 5 segunda más tarde. Datos: g=10 m s^{-2}

(10-R) Un electrón, con una velocidad de $6 \cdot 10^6$ $m \cdot s^{-1}$, penetra en un campo eléctrico uniforme y su velocidad se anula a una distancia de 20 cm desde su entrada en la región del campo.

a) Razone cuáles son la dirección y el sentido del campo eléctrico.
b) Calcule su módulo.

$$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19} \text{ C}; \quad m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

6.18.- Cuestiones propuestas en Selectividad

(97-R) Dos cargas puntuales iguales están separadas por una distancia **d**. a) ¿Es nulo el campo eléctrico total en algún punto? Si es así, ¿cuál es la posición de dicho punto? b) Repita el apartado anterior suponiendo que las cargas fueran de distinto signo.

(97-R) Indique si son o no correctas las siguientes frases, justificando las respuestas: a) Si dos puntos se encuentran al mismo potencial eléctrico, el campo eléctrico en los puntos del segmento que une dichos puntos es nulo. b) El trabajo necesario para transportar una carga de un punto a otro que se encuentra a distinto potencial eléctrico, es nulo.

(98-R) Conteste razonadamente a las siguientes preguntas: a) ¿Qué diferencias puedes señalar entre la interacción electrostática entre dos cargas puntuales y la interacción gravitatoria entre dos masas puntuales. b) ¿Existe fuerza electromotriz inducida en una espira colocada frente a un imán?

(98-R) Conteste razonadamente a las siguientes preguntas: a) ¿Puede ser nulo el campo eléctrico producido por dos cargas puntuales en un punto del segmento que las une? b) ¿Se puede determine el campo eléctrico en un punto si conocemos el valor del potencial en ese punto?

(98-R) Razone si la energía potencial electrostática de una carga **q** aumenta o disminuye, al pasar del punto **A** al punto **B**, siendo el potencial en **A** mayor que en **B**. b) El punto **A** está más alejado que el **B** de la carga **Q** que crea el campo. Razone si la carga **Q** es positiva o negativa.

(99-R) a) Explique las analogías y diferencias entre el campo electrostático creado por una carga puntual y el campo gravitatorio creado por una masa puntual, en relación con su origen, intensidad relativa, y carácter atractivo/repulsivo. b) ¿Puede anularse el campo gravitatorio y/o el campo eléctrico en un punto del segmento que une a dos partículas cargadas? Razone la respuesta.

(00-E) En una región del espacio el potencial electrostático aumenta en el sentido positivo del eje Z y no cambia en las direcciones de los otros dos ejes. a) Dibuje en un esquema las líneas del campo electrostático y las superficies equipotenciales. b) ¿En qué dirección y sentido se moverá un electrón, inicialmente en reposo?

(01-E) Una partícula cargada penetra en un campo eléctrico uniforme con una velocidad perpendicular al campo. a) Describa la trayectoria seguida por la partícula y explique cómo cambia su energía. b) Repita el apartado anterior si en vez de un campo eléctrico se tratara de un campo magnético.

(01-R) Un electrón penetra con velocidad **v** en una zona del espacio en la que coexisten un campo eléctrico **E** y un campo magnético **B**, uniformes, perpendiculares entre sí y perpendiculares a **v**. a) Dibuje las fuerzas que actúan sobre el electrón y escriba las expresiones de dichas fuerzas. b) Represente en un esquema las direcciones y sentidos de los campos para que la fuerza resultante sea nula. Razone la respuesta.

(01-R) Dos cargas eléctricas puntuales, positivas e iguales están situadas en los puntos A y B de una recta horizontal. Conteste razonadamente a las siguientes cuestiones: a) ¿Puede ser nulo el potencial en algún punto del espacio que rodea a ambas cargas? ¿Y el campo eléctrico? b) Si separamos las cargas a una distancia doble de la inicial, ¿se reduce a la mitad la energía potencial del sistema?

(02-E) Justifique razonadamente, con la ayuda de un esquema, qué tipo de movimiento efectúan un protón y un neutrón, si penetran con una velocidad $\mathbf{v_0}$ en: a) una región en la que existe un campo eléctrico uniforme de la misma dirección y sentido contrario que la velocidad $\mathbf{v_0}$; b) una región en la que existe un campo magnético uniforme perpendicular a la velocidad $\mathbf{v_0}$.

(02-R) Comente las siguientes afirmaciones relativas al campo eléctrico: a) Cuando una carga se mueve sobre una superficie equipotencial no cambia su energía mecánica. b) Dos superficies equipotenciales no pueden cortarse.

(02-R) a) Explique las características del campo eléctrico en una región del espacio en la que el potencial eléctrico es constante. b) Justifique razonadamente el signo de la carga de una partícula que se desplaza en la dirección y sentido de un campo eléctrico uniforme, de forma que su energía potencial aumenta.

(03-R) Razone la veracidad o falsedad de las siguientes afirmaciones: a) Cuando nos alejamos de una carga eléctrica negativa el potencial electrostático aumenta pero la intensidad del campo que crea disminuye. b) En algún punto P situado en el segmento que une dos cargas eléctricas idénticas, el potencial electrostático se anula pero no la intensidad del campo electrostático.

(03-R) Razone las respuestas a las siguientes preguntas: a) Una carga negativa se mueve en la dirección y sentido de un campo eléctrico uniforme. ¿Aumenta o disminuye el potencial eléctrico en la posición de la carga? ¿Aumenta o disminuye su energía potencial? b) ¿Cómo diferirían las respuestas del apartado anterior si se tratara de una carga positiva?

(04-E) Una carga eléctrica positiva se mueve en un campo eléctrico uniforme. Razone cómo varía su energía potencial electrostática si la carga se mueve: a) En la misma dirección y sentido del campo eléctrico. ¿Y si se mueve en sentido contrario? b) En dirección perpendicular al campo eléctrico. ¿Y si la carga describe una circunferencia y vuelve al punto de partida?

(06-R) a) Al moverse una partícula cargada en la dirección y sentido de un campo eléctrico, aumenta su energía potencial. ¿Qué signo tiene la carga de la partícula?

b) La misma partícula se mueve en la dirección y sentido de un campo magnético. ¿Qué trabajo se realiza sobre la partícula? Razone las respuestas.

(06-R) Dos cargas eléctricas puntuales, positivas y en reposo, están situadas en dos puntos A y B de una recta. Conteste razonadamente a las siguientes preguntas:

a) ¿Puede ser nulo el campo eléctrico en algún punto del espacio que rodea a ambas cargas? ¿Y el potencial eléctrico?
b) ¿Qué fuerza magnética se ejercen las cargas entre sí? ¿Y si una de las cargas se mueve a lo largo de la recta que las une?

(06-E) a) Una partícula cargada negativamente pasa de un punto A, cuyo potencial es V_A, a otro B, cuyo potencial es $V_B > V_A$. Razone si la partícula gana o pierde energía potencial.

b) Los puntos C y D pertenecen a una misma superficie equipotencial. ¿Se realiza trabajo al trasladar una carga (positiva o negativa) desde C a D? Justifique la respuesta.

(07-R) a) Explique las analogías y diferencias entre el campo eléctrico creado por una carga puntual y el campo gravitatorio creado por una masa puntual, en relación con su origen, intensidad relativa, dirección y sentido. b) ¿Puede anularse el campo gravitatorio y/o el campo eléctrico en un punto del segmento que une a dos partículas cargadas? Razone la respuesta.

(08-E) a) Explique las características de la interacción eléctrica entre dos cargas puntuales en reposo.
b) ¿Es nulo el campo eléctrico en algún punto del segmento que une dos cargas puntuales de igual valor absoluto pero de signo contrario? Razone la respuesta.

(10-E) a) Explique la relación entre campo y potencial electrostáticos.
b) Una partícula cargada se mueve espontáneamente hacia puntos en los que el potencial electrostático es mayor. Razone, si de ese comportamiento, puede deducirse el signo de la carga.